

AUS DEM INSTITUT FÜR SPORTMEDIZIN
DER WESTFÄLISCHEN WILHELMS-UNIVERSITÄT MÜNSTER

(Direktor: Prof. Dr. med. E. J. Klaus)

Durchgeführt mit Unterstützung
des Kuratoriums für Sportmedizinische Forschung e.V.

**Elektronische Blutdruckmessungen
(Infraton-System, Boucke-Brecht)
im Nüchternzustand zur Tagesrhythmik
beim Sportler**

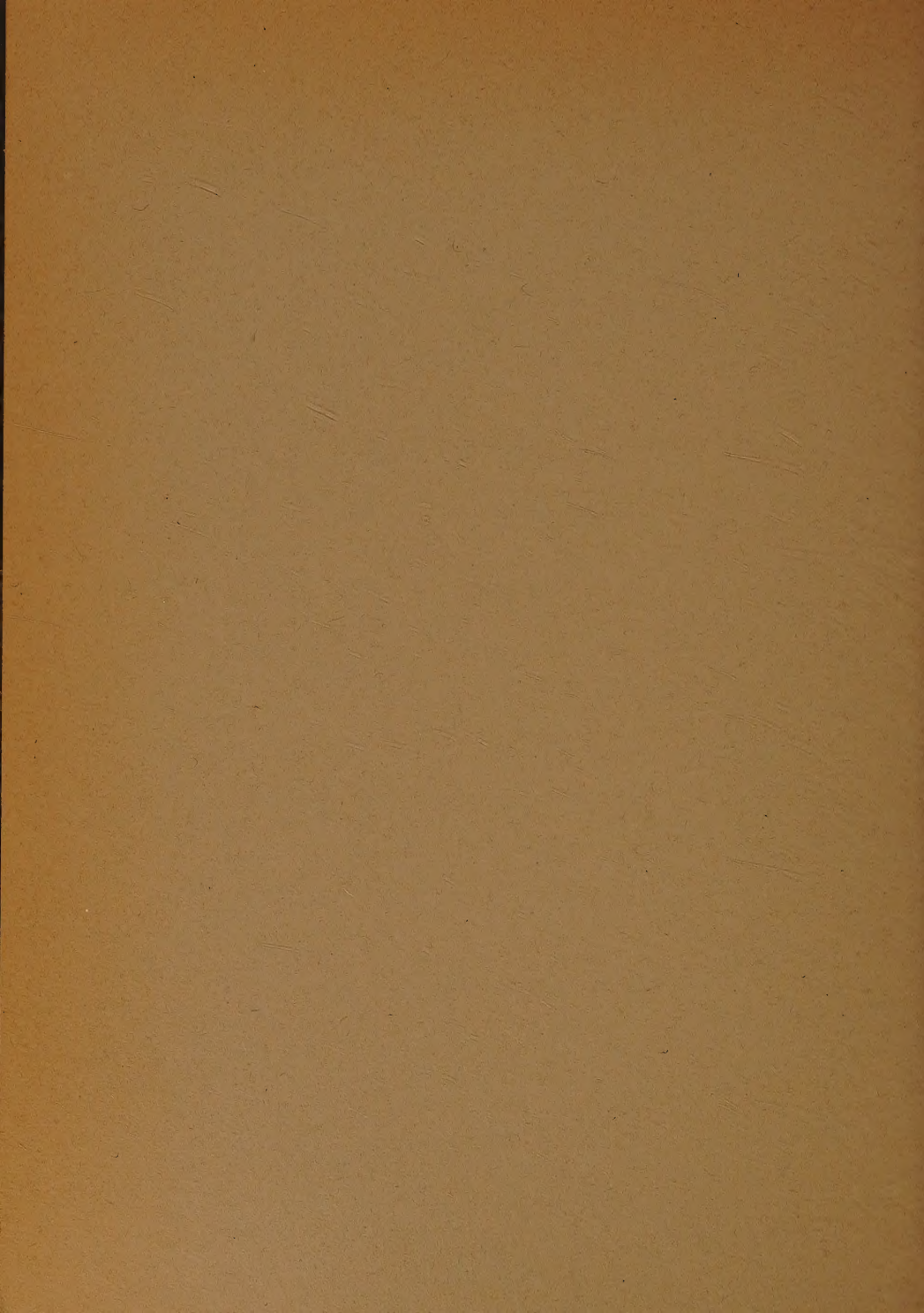
INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades in der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster

vorgelegt von
Dirk Clasing

aus Köln

1961



AUS DEM INSTITUT FÜR SPORTMEDIZIN
DER WESTFÄLISCHEN WILHELMS-UNIVERSITÄT MÜNSTER

(Direktor: Prof. Dr. med. E. J. Klaus)

Durchgeführt mit Unterstützung
des Kuratoriums für Sportmedizinische Forschung e.V.

**Elektronische Blutdruckmessungen
(Infraton-System, Boucke-Brecht)
im Nüchternzustand zur Tagesrhythmik
beim Sportler**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades in der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster

vorgelegt von
Dirk Clasing

aus Köln

1961



Dekan: Prof. Dr. med. O. Hepp

Referent: Prof. Dr. med. E. J. Klaus

Korreferent: Prof. Dr. med. E. Schütz

Tag der mündlichen Prüfung: 17. 1. 1961

Gesamtherstellung: Buchdruckerei Ernst Knoth, Melle

Inhalt

	Seite
Einleitung und Problemstellung	5
Methodik	5
Untersuchungsgut	8
Ergebnisse	9
Besprechung der Ergebnisse	
1. Form der Tageskurven	36
2. Variationsbreite	38
3. Tageszeitliche Lage der Extremwerte . . .	38
4. Physiologie der Blutdruckregulierung . . .	41
Zusammenfassung	43
Literaturverzeichnis	45
Lebenslauf	48

Die lebende und tote Welt, alle natürlichen Vorgänge sind bekannten und unbekannten Gesetzen unterworfen. Eines dieser unumstößlichen Naturgesetze offenbart sich in dem Phänomen der Rhythmik, das in dem Wechsel von Tag und Nacht wohl am deutlichsten zu erkennen ist. Unser Leben und die Natur um uns herum stehen unter dem Einfluß sich wiederholender Vorgänge. Der Philosoph *Klages* (22) beschrieb dieses Phänomen der Rhythmik als zeitliche oder räumliche Wiederkehr des Ähnlichen. Zeitliche oder räumliche Wiederkehr des Gleichen ist nach *Klages* Takt. Tageszeitliche Schwankungen von Körperfunktionen sind für die körperliche Leistungsfähigkeit vor allem für deren Schwankungen im Tagesablauf von Bedeutung. Der Tagesperiodik von Kreislaufgrößen kommt in diesem Zusammenhang für das sportliche Training und den Wettkampf besondere Bedeutung zu.

Methodik

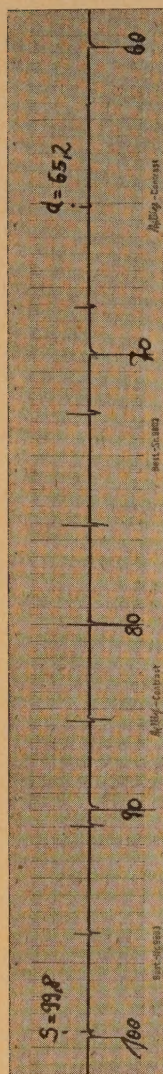
Untersuchungen von Organfunktionen auf rhythmische Veränderungen erfordern besondere Sorgfalt, will man die teilweise geringen Abweichungen vom Mittelwert darstellen. Es müssen möglichst alle störenden Einflüsse, die das Bild der Periodik verwischen können, ausgeschaltet oder wenigstens weitgehend konstant gehalten werden. Diese Forderung gilt nicht nur für exogene Faktoren, auch sollen die Probanden nicht psychisch erregt oder angespannt sein.

Methodik früherer Untersuchungen

Völker (43) nennt als wichtigste Versuchsbedingung, den Einfluß von Aufstehen und Niederlegen auszuschalten. Er zeigt die Einflüsse der Nahrungsaufnahme und des Schlafes auf die Tageskurve des Pulses, und zwar wirken der Schlaf und die Nüchternheit im Schlafe senkend, Aufwachen und Nahrungsaufnahme dagegen steigernd. *Völker* kommt zu dem Ergebnis, daß Nüchternversuche ein Beweis dafür sind, daß in der Kurve der Lebensvorgänge ein innerer Rhythmus besteht. Ferner hält er es für erforderlich, die Versuche unter raumklimatisch günstigen Bedingungen abzuhalten. Lesen und Schreiben waren bei ihm erlaubt.

Jores (14) widmet in seiner Abhandlung «Physiologie und Pathologie der 24-Stunden-Rhythmik des Menschen» einen langen Abschnitt der Frage nach optimalen Versuchsbedingungen. Die Umweltfaktoren soweit wie möglich konstant zu halten, ist seine erste Forderung. Bewegung, Nahrungszufuhr und für manche Fragestellung auch den Schlaf auszuschalten, hält er für erforderlich.

Menzels (30) Versuchspersonen lagen größtenteils zu Bett. Er gewährte ihnen Nahrungs- und Flüssigkeitszufuhr von bestimmter gleichbleibender Zusammensetzung und Menge in zu den Messungen feststehenden Zeitabschnitten.



Eigene Untersuchungsmethodik

Unsere Probanden lagen während der Untersuchungen, die sich über 24 Stunden erstreckten, ausnahmslos im Bett. Die Untersuchungen begannen in der Regel um 8.00 Uhr und setzten sich dann über 24 Stunden in Abständen von 60 Minuten fort. Um möglichst weitgehende Ruhewerte zu erzielen, schliefen die Probanden schon in der Nacht vor Versuchsbeginn in den Untersuchungsbetten. Eine Nahrungs- oder Flüssigkeitszufuhr im Sinne Menzels (29) wurde nicht gereicht, denn in dieser Versuchsserie sollen die rhythmischen Veränderungen einiger Organfunktionen ohne Nahrungsaufnahme untersucht werden, um als Grundlage für den Vergleich mit Untersuchungen bei Nahrungsaufnahme zu dienen. Außerdem soll nach Jores (14) die endogene Rhythmik bei Nüchternversuchen besser zum Vorschein kommen. Die 36stündige Nahrungs- und Flüssigkeitskarenz wurde von den Probanden gut vertragen. Über längeranhaltende Hunger- oder Durstgefühle wurde nicht geklagt. Der Gewichtsverlust betrug im Durchschnitt 1,6 kg. Bei völliger Bettruhe war Lesen und Schreiben erlaubt, es wurde aber wenig Gebrauch davon gemacht. In der Regel wurde um 23.00 Uhr das Licht gelöscht. Die Untersuchungen fanden in einem Raum des Instituts für Leibesübungen der Universität statt. Raumtemperatur (M.: 20°C) und Luftfeuchtigkeit (M.: 51%) hielten sich mit geringen Schwankungen auf demselben Niveau. Größere Schwankungen des Luftdrucks wurden nicht registriert.

Während der ganzen Versuchsdauer standen die Probanden unter Kontrolle, die Untersuchungen wurden immer von derselben Person vorgenommen.

Zur Blutdruckmessung, die als Grundlage für unsere Untersuchungen diente, wurde nicht das allgemeingebräuchliche Gerät nach Riva-Rocci sondern das von Brecht und Boucke (5), Brecht, Boucke, Amann (6), Neumann, Boeder (36) angegebene Verfahren, die «Elektronische Blutdruckmessung» nach dem Infraton-System, herangezogen.

← Abb. 1: Blutdruckkurve abgenommen mit dem «Infraton-System» und registriert mit dem Hellige-Simpliscriptor (s = systolischer Druckwert, d = diastolischer Druckwert)

An die Stelle des Stethoskops tritt ein nach der Infraton-Bauweise hergestellter hochempfindlicher Pulsabnehmer (Abmessungen: 50 x 15 x 27 mm). Es ist ein mit Gummi überzogener Wickelkondensator hoher Kapazität. Er wurde mit Heftpflasterstreifen über der A. cubitalis des linken Armes befestigt. Der Arm wurde zur Messung um zirka 75° abduziert und in Volarstellung der Hand auf eine feste Unterlage gelegt, so daß ein Überstrecken im Ellenbogengelegenke ausgeschlossen war. Als Druckmanschette diente die übliche 12 cm breite Gummimanschette, die an den gebräuchlichen RR-Geräten zu finden ist. Sie wurde um den Oberarm gelegt. Dem Pulsabnehmer war das Anschaltgerät KE2 nachgeschaltet. Ein Anschaltgerät ist erforderlich, da der Infraton-Pulsabnehmer als ein Kondensatormikrophon eine besondere Vorspannung sowie eine Filterkette benötigt, welche die Vorspannung vom Registriergerät fernhält und nur die von den Korotkoff-Geräuschen (befindet sich das Anschaltgerät in Einstellung «K») abhängigen Spannungsänderungen überträgt (Abb. 1). Manchmal kommt jedoch wegen der verhältnismäßig tiefen unteren Grenzfrequenz des Filters (0,1–200 Hz) ein schwacher Rest des Pulsbeginns als Zacke durch. Die Registrierung wurde mit einem einfach direkt schreibenden Elektrokardiographen (Hellige-Freiburg: Simpliscriptor, Typ 9300) vorgenommen. Der Papiervorschub betrug 25 mm/sec. Die Armmanschette und der zu ihrem Aufpumpen notwendige Gummiballon stehen mit dem Druckmarkengeber FBR2 in Verbindung. Der Druckmarkengeber ist ein Manometer, das bei fallendem oder steigendem Manschettendruck in Abständen von 10 mm Hg Impulse aussendet, die vom EKG-Gerät in scharfen nach abwärts weisenden Zacken registriert werden. Die Meßgenauigkeit wird mit ca. $\pm 1,5$ mm Hg angegeben. Das erste Auftreten von K-Geräuschen zeigt den systolischen Druckwert (s. in Abb. 1) an. Zur Auffindung des diastolischen Druckes (d. in Abb. 1) beginnt man, von rechts her den Punkt zu suchen, an dem die Restzacke deutlich größer wird.

Dieses Verfahren der Blutdruckbestimmung bietet für die Untersuchungen des Blutdrucks auf seine rhythmischen Veränderungen bedeutende Vorteile. Es fallen u. a. die subjektiven Täuschungen fort bei der akustischen Wahrnehmung der K-Geräusche und ihrer Zuordnung zum Manschettendruck; außerdem werden die Fehlermöglichkeiten, die durch den wechselnden Auflagedruck des Stethoskops gegeben sind, ausgeschlossen. Da bei den rhythmischen Veränderungen teilweise nur geringe Schwankungen registriert werden, hat dieses Verfahren bedeutende Vorteile. Keuth (21) gibt an, daß überall, wo das auskultatorische Verfahren zuverlässige Ergebnisse liefere (bei Erwachsenen und größeren Kindern), gute Übereinstimmung bestände mit den Werten, die nach dem Infraton-System gewonnen wären.

Wir führten stündlich zwei Messungen des Blutdrucks durch. Der Abstand zwischen beiden Messungen betrug wenigstens eine Minute.

Statistik

Die bei der statistischen Bearbeitung der Ergebnisse verwendeten Formeln und Tabellenwerte wurden der Monographie von Linder (27) entnommen. Sie lauten:

Durchschnitt:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i ;$$

Streuung: mittlere quadratische Abweichung s;

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 ;$$

Regressionskoeffizienten: wenn von x auf y geschlossen wird:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \bar{x} \sum_{i=1}^N y_i}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \bar{x} \sum_{i=1}^N x_i} ;$$

wenn von y auf x geschlossen wird:

$$b^+ = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \bar{x} \sum_{i=1}^N y_i}{\sum_{i=1}^N y_i^2 - \bar{y} \sum_{i=1}^N y_i} .$$

Regressionsgleichungen: $Y = \bar{y} + b (x - \bar{x}) ;$

Korrelationskoeffizient: $r = \sqrt{b \cdot b^+} ;$

Prüfung des Korrelationskoeffizienten (kleine Stichproben):

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{N-2} \text{ (Freiheitsgrad } n = N-2);$$

außerhalb von $\pm t$ liegt der Bruchteil P der Gesamtfläche unter der Kurve der t-Verteilung (Student-Verteilung). Sicherheitsschwellen: 5% und 1%.

Untersuchungsgut

Zu den Untersuchungen hatten sich 17 Sportstudenten und Leistungssportler der Universität zur Verfügung gestellt. Alle Probanden waren in dem Institut für Sportmedizin (Leiter: Prof. Dr. med. E. J. K l a u s) eingehend untersucht worden. Es fanden sich bei ihnen keine pathologischen Erscheinungen, die Auswirkungen auf den Kreislauf hätten haben können. Besonderheiten im Tagesablauf der Versuchspersonen waren nicht zu verzeichnen.

Ergebnisse

Die Versuchsergebnisse sind in Tab. I a-c zusammengestellt. Es sind Mittelwerte aus jeweils zwei Messungen.

Zeit	Versuche					
	4	5	6	7	8	9
	mm Hg	mm Hg	mm Hg	mm Hg	mm Hg	mm Hg
8.00	140,5/90,5	105,0/64,0	94,8/60,2	105,6/57,4	96,9/65,0	109,2/61,5
9.00	147,5/88,9	107,7/59,8	98,3/63,7	103,9/60,5	104,1/67,6	113,8/61,6
10.00	141,5/84,9	106,6/61,4	96,8/63,2	102,0/61,1	104,5/67,8	105,4/63,2
11.00	145,2/92,3	100,4/62,1	101,5/64,5	107,3/58,3	102,0/69,8	113,3/62,5
12.00	139,6/93,2	104,9/59,5	101,4/65,3	107,4/63,2	105,5/65,2	104,0/63,7
13.00	139,4/96,0	107,0/59,3	104,2/67,2	102,7/59,5	104,0/61,8	110,4/60,5
14.00	143,8/86,6	108,7/60,1	106,1/66,4	100,7/61,4	112,0/61,3	106,4/60,7
15.00	140,4/85,3	112,2/59,2	108,2/65,0	101,3/63,5	105,8/66,5	112,5/62,2
16.00	145,6/85,9	113,3/58,0	100,8/63,0	104,9/64,1	105,3/66,4	112,7/56,5
17.00	131,3/89,1	113,9/59,1	103,3/66,9	106,5/61,0	105,6/61,4	110,0/59,1
18.00	134,0/91,7	109,3/58,4	103,9/66,5	108,2/70,8	112,1/57,4	110,2/61,0
19.00	137,8/85,2	113,4/64,8	108,4/68,4	104,4/67,7	110,0/58,7	106,0/56,2
20.00	141,6/86,9	113,5/65,9	108,1/66,9	103,2/60,9	106,4/57,3	114,0/55,5
21.00	140,7/91,1	118,9/61,3	106,1/66,8	102,1/56,4	112,2/61,6	108,1/60,8
22.00	141,9/80,8	118,2/60,3	105,2/58,2	103,7/59,0	111,6/62,4	111,3/60,6
23.00	141,6/86,5	121,5/59,5	104,9/60,8	101,8/61,6	100,1/65,8	108,9/59,0
24.00	135,8/95,2	123,0/67,7	103,2/62,7	99,2/60,6	102,2/66,9	107,5/60,7
1.00	148,4/83,3	116,7/64,5	99,6/59,7	100,9/64,1	102,0/64,7	107,7/63,0
2.00	143,1/85,0	119,5/64,8	102,0/60,2	96,6/59,9	99,7/64,7	113,1/55,6
3.00	140,8/85,6	121,3/66,7	103,0/62,0	97,7/65,3	111,4/63,7	108,4/56,6
4.00	145,8/92,7	120,5/70,8	105,8/69,7	94,1/52,1	112,5/67,9	110,2/53,5
5.00	134,6/92,7	121,7/68,3	102,5/66,2	99,8/59,1	108,7/63,2	106,9/58,3
6.00	142,5/83,8	121,9/66,7	100,0/62,5	102,2/62,7	110,3/63,8	102,7/56,7
7.00	133,9/84,7	109,3/64,0	107,3/64,4	107,1/68,7	103,9/65,3	104,6/59,4
8.00	148,9/85,2	116,1/68,1				

Tab. I a Meßwerte des systolischen und diastolischen Blutdrucks bei stündlicher Messung (Versuche 4-9)

Versuche

Zeit	10	11	12	13	14	15	16
	mm Hg	mm Hg	mm Hg	mm Hg	mm Hg	mm Hg	mm Hg
8.00	106,2/66,0	104,4/60,0	113,3/75,5	104,3/63,5	107,1/71,2	108,3/68,5	103,4/60,2
9.00	107,1/71,9	107,5/62,3	120,4/77,5	101,6/62,9	104,4/70,6	103,8/66,5	104,0/68,0
10.00	104,0/64,3	106,5/58,7	114,8/66,3	101,9/63,9	106,8/63,4	112,4/67,7	104,5/64,0
11.00	108,5/63,1	101,4/62,3	120,7/68,3	100,9/64,5	106,4/69,3	106,9/68,8	108,0/61,1
12.00	107,8/61,6	105,6/59,4	116,8/65,3	107,9/67,2	105,8/69,0	115,0/71,8	103,3/59,5
13.00	107,5/68,7	104,7/58,2	112,2/66,4	106,2/58,6	104,3/69,7	104,8/67,7	99,7/62,0
14.00	106,8/63,4	106,0/61,4	111,9/67,8	104,3/63,7	106,3/75,2	111,6/72,1	102,2/56,8
15.00	101,7/58,0	102,3/64,3	115,7/66,6	105,5/60,1	109,0/69,4	111,9/70,7	103,0/58,3
16.00	102,3/66,7	104,5/60,4	113,2/69,6	105,1/58,0	110,5/76,2	110,1/67,1	99,7/60,0
17.00	101,9/65,5	112,4/70,3	119,7/74,0	105,2/63,7	108,2/69,2	114,6/74,3	100,8/62,9
18.00	106,6/71,3	108,8/65,6	121,1/73,8	107,8/54,6	111,6/70,7	109,9/69,2	100,4/66,0
19.00	109,5/68,1	112,9/65,6	118,0/67,2	104,2/54,2	114,4/67,9	111,6/70,5	100,7/57,7
20.00	110,3/66,0	108,6/65,4	114,1/66,6	108,3/60,8	115,3/72,6	109,9/73,3	109,6/64,7
21.00	106,1/65,9	114,0/70,3	124,2/69,2	107,9/58,5	117,1/70,8	107,8/70,4	106,7/62,0
22.00	93,6/59,4	109,4/65,2	119,4/69,7	108,7/63,1	119,2/69,0	112,1/77,3	103,8/65,7
23.00	99,3/67,8	109,2/67,3	118,0/74,2	108,4/58,5	111,3/66,1	110,1/73,9	103,9/62,0
24.00	104,6/66,8	106,6/65,3	118,3/67,9	111,7/59,3	116,1/73,0	103,5/75,4	100,6/61,4
1.00	106,9/69,0	113,7/66,7	120,9/74,6	113,0/63,5	117,5/80,0	109,5/73,0	102,4/61,2
2.00	107,2/64,9	113,2/65,1	120,6/73,5	107,4/54,5	114,6/74,2	111,1/65,5	99,3/63,4
3.00	98,3/66,5	110,0/67,2	122,1/71,5	106,2/55,7	115,2/75,5	112,0/76,4	100,5/65,1
4.00	98,4/61,3	112,0/64,0	123,8/75,6	111,6/65,4	114,2/74,5	112,6/74,9	99,7/60,7
5.00	99,5/59,5	109,5/67,1	118,2/71,3	112,8/68,6	112,0/72,8	107,3/74,3	103,2/67,3
6.00	95,3/58,5	111,7/63,5	118,9/69,6	106,2/60,9	115,8/77,8	109,2/72,3	104,1/64,4
7.00	100,9/60,7	111,1/72,8	125,5/79,6	108,1/59,5	111,3/67,3	107,8/70,9	105,6/66,6
8.00	104,4/63,4	114,0/74,0	129,3/80,7	120,3/70,6	114,3/73,9	108,1/72,1	113,7/64,9

Tab. I b

Messwerte des systolischen und diastolischen Blutdrucks bei
stündlicher Messung (Versuche 10-16)

Versuche

Zeit	17	18	19	20
	mm Hg	mm Hg	mm Hg	mm Hg
8.00	102,8/74,8	107,1/56,5	94,4/61,3	120,0/83,6
9.00	99,6/66,6	106,7/60,3	95,5/64,8	119,4/87,2
10.00	100,9/67,7	108,7/53,3	103,6/68,7	122,1/75,9
11.00	101,5/66,2	103,9/53,9	96,8/64,7	112,1/70,7
12.00	106,7/76,2	104,7/58,1	96,3/59,6	111,9/73,2
13.00	97,4/63,1	104,3/56,7	96,2/63,5	108,1/71,4
14.00	100,7/74,5	108,3/54,0	97,2/61,6	119,5/77,3
15.00	102,9/71,8	102,8/57,0	98,0/65,5	118,5/81,8
16.00	99,5/65,2	97,4/52,2	96,4/61,8	111,8/71,4
17.00	100,2/67,6	100,8/53,7	99,6/68,3	112,7/77,5
18.00	101,6/61,8	108,8/53,9	102,5/66,8	113,4/73,1
19.00	105,5/66,4	113,3/59,6	99,1/62,9	118,1/74,1
20.00	109,7/77,3	107,3/50,9	104,6/66,5	130,0/82,7
21.00	108,2/76,9	109,4/61,7	104,5/65,6	131,3/81,9
22.00	115,3/73,7	108,5/55,2	101,3/62,4	119,4/76,2
23.00	103,6/70,8	105,7/57,4	100,1/59,0	125,1/81,1
24.00	103,1/72,7	110,0/56,9	104,0/59,1	124,8/84,5
1.00			98,4/61,6	123,9/80,5
2.00	108,0/75,4	108,6/55,7	102,9/62,7	124,1/83,5
3.00			98,0/58,5	123,6/76,7
4.00	104,4/68,1	111,2/58,0	101,8/56,2	121,8/76,9
5.00	98,4/66,1	110,3/65,7	91,0/56,8	124,3/75,5
6.00	100,4/66,3	108,5/57,7	99,0/58,6	124,5/75,6
7.00	108,1/67,1	113,1/59,9	110,6/63,6	119,9/74,0
8.00	106,3/63,2	109,9/52,2	111,1/63,1	123,3/83,6

Tab. I c
Meßwerte des systolischen und diastolischen Blutdrucks bei stündlicher Messung (Versuche 17–20)

Trägt man jeden Wert der einzelnen Versuche (systolische und diastolische Druckwerte getrennt) in ein Koordinatensystem ein (Abszisse – Tageszeit, Ordinate – Druck in mm Hg), so sieht man, daß von Stunde zu Stunde die Lage der Werte verändert ist, doch scheint sich in diesen Schwankungen keine Regelmäßigkeit abzuzeichnen (Abb. 2 und 3).

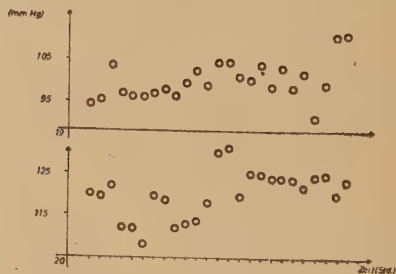
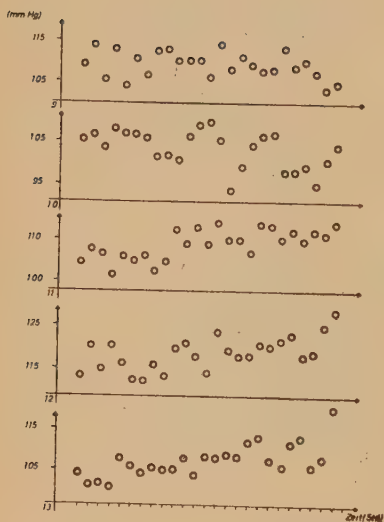
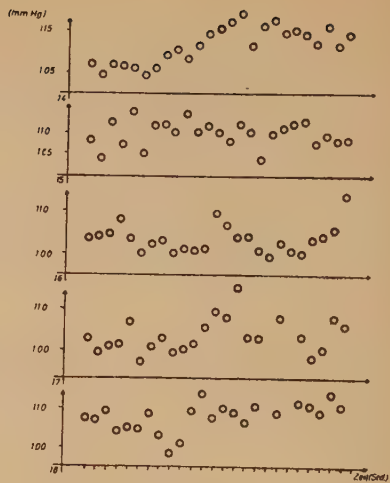
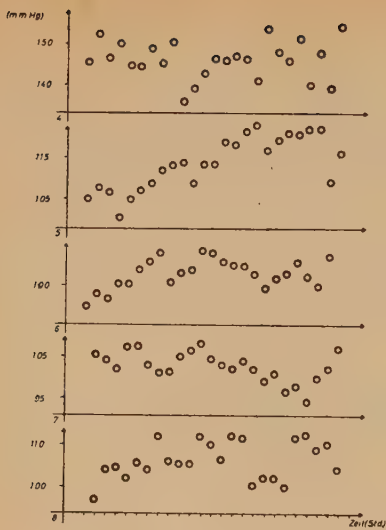


Abb. 2
Systolische Blutdruckwerte bei
stündlicher Messung
(Versuche 4-20)

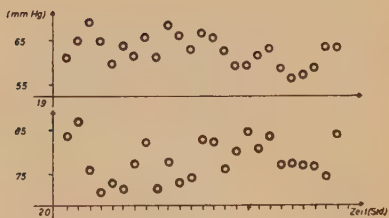
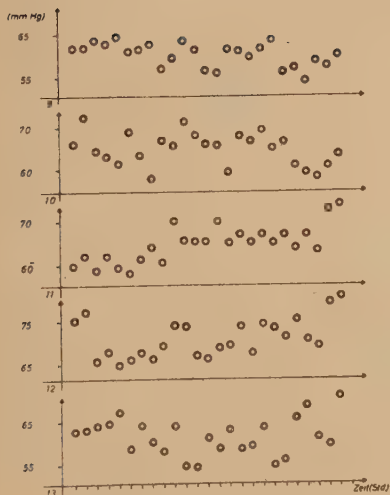
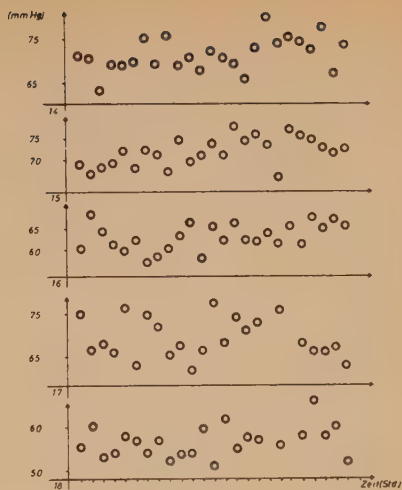
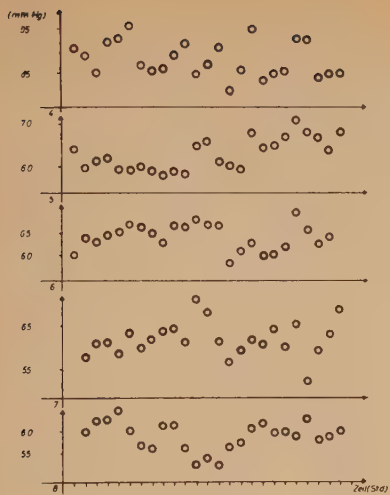


Abb. 3
Diastolische Blutdruckwerte bei
stündlicher Messung
(Versuche 4-20)

Um zu einer Mittelwertskurve zu gelangen, berechnen wir aus 17 Versuchen für jede Tageszeit den mittleren relativen systolischen (bzw. diastolischen) Blutdruckwert. Tagesmittel = 100% (Abb. 4 und 5).

Abb. 4
Mittlere relative systolische
Blutdruckwerte
Tagesmittel: 100%

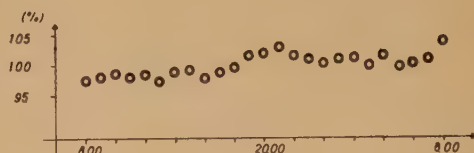
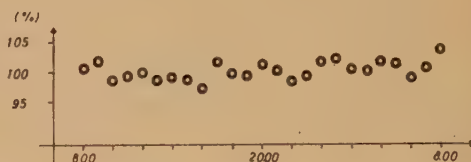


Abb. 5
Mittlere relative diastolische
Blutdruckwerte
Tagesmittel: 100%



Beide Zeichnungen (Abb. 4 und 5) bieten bei Betrachtung ein unterschiedliches Bild. Während man in Abb. 4 zwei Senkungen und zwei Erhebungen erkennen kann, scheinen in Abb. 5 die Schwankungen ziemlich regellos aufzutreten.

Nun ist schon aus der Literatur bekannt, daß solche «Summen- oder Mittelwertskurven» oft nicht zum Ziel führen (Menzel [30], Berges [2]). Es liegen nämlich die Maxima und Minima der verschiedenen Probanden nicht zu den gleichen Tageszeiten. Sie können sich deshalb durch Überlagerung gegenseitig aufheben und das Kurvenbild nivellieren und verzerren. Menzel (30) hat aufgezeigt, daß bei Versuchspersonen, die in einem Raum untergebracht sind und an denen zur selben Zeit Messungen zur Erforschung rhythmischer Phänomene von Körperfunktionen vorgenommen werden, die tageszeitliche Lage ihrer Extremwerte stark differieren kann. (Völker [42], Jores [14], Menzel [30], Menzel [31], Aschoff [1], Berges [2].) Auch bei ein und derselben Person zeigte sich eine erhebliche Phasenverschiebung bei Messungen über mehrere Tage.

Um eine klare Mittelwertskurve vom Tagesablauf einer Körperfunktion zu erhalten, muß man versuchen, die Phasenverschiebung auszugleichen. Das von Blume (3, 4) entwickelte mathematische Verfahren zur Analyse kurzer Kurvenzüge würde wohl das beste und zuverlässigste Ergebnis geliefert haben. Es konnte aber aus technischen Gründen nicht angewendet werden. Wir schlossen uns daher den Überlegungen von Berges (2) an, der folgenden Weg beschritt, um die Form der Tageskurve für eine Organfunktion zu finden:

«Die Fläche zwischen zwei Sinuskurven mit gleicher Nulllinie ist am größten, wenn die Phasenverschiebung 180° beträgt, sie ist am kleinsten, nämlich gleich null, wenn sich die Kurven decken. Entsprechend gilt für zwei einander ähnliche wellenförmige Kurven, wie man sie bei Rhythmusuntersuchungen immer wieder gefunden hat, daß die zwischen ihnen liegende Fläche ein Minimum sein muß, wenn die Kurven gleiche Phasenlage haben. In unserem Falle können wir mit den vorhandenen Werten Polygonzüge herstellen, doch würde die Berechnung der zwischen zwei solchen Polygonzügen liegenden Fläche sehr umständlich sein. Weniger Aufwand an Rechenarbeit erfordert die Bestimmung des mittleren Abstandes der beiden Kurvenzüge, der ebenfalls dann am kleinsten ist, wenn die Kurvenphasen gleich liegen. Für diese Untersuchung nehmen wir an, daß sich nach 24 Stunden die gleiche «Kurve» wiederholt, obwohl in Wirklichkeit nur ähnliche Verhältnisse wiederkehren.»

Der Gang der Rechnung mit systolischen Blutdruckwerten war nun folgender: Es wurden die Abstandssummen für die Versuche 4 und 5 ausgerechnet. Dabei fand sich, daß man die kleinste Abstandssumme erhält, wenn der 8.00 Uhrwert des Versuches 4 und der 13.00 Uhrwert des Versuches 5 zusammentreffen. Nun wurden noch weitere 8 Versuche mit Versuch 4 kombiniert und so die Phasenverschiebung berechnet. Um Zufallsergebnisse auszuschließen wurde folgender Weg zur Prüfung herangezogen: Kennt man die Phasenverschiebung zwischen 4 und 5 und außerdem die zwischen 4 und 6, so läßt sich daraus die Phasendifferenz zwischen 5 und 6 ableiten und mit dem zur Prüfung errechneten Ergebnis (zwischen 5 und 6) vergleichen.

In Abb. 6 sind die errechneten Phasenunterschiede von 10 Versuchen (Versuche 4–13) dargestellt. Abb. 7 zeigt die Mittelwertskurve nach Ausgleich der errechneten Phasendifferenz. Tab. II enthält die Werte der Kurve.

Abb. 6

Phasenverschiebung
rechnerisch bestimmt
für den systolischen
Blutdruck (9 Versuche
auf Versuch 4 bezogen)

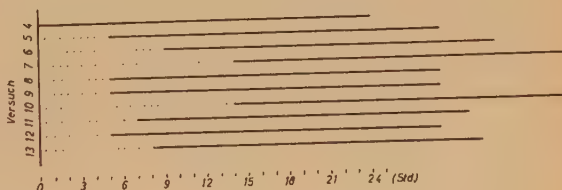
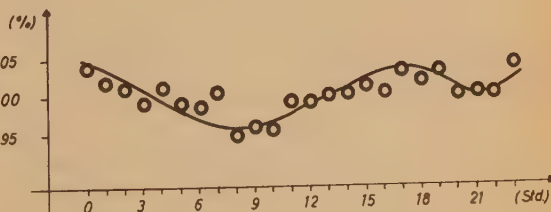


Abb. 7

Die aus 10 Versuchen
erhaltene Mittelwert-
skurve nach rechneri-
ischem Phasenaus-
gleich für den systoli-
schen Blutdruck



0 = 103,9
 1 = 101,9
 2 = 101,3
 3 = 99,2
 4 = 101,0
 5 = 99,3
 6 = 98,6
 7 = 101,1
 8 = 94,7
 9 = 95,7
 10 = 95,5
 11 = 98,9
 12 = 98,8
 13 = 99,8
 14 = 100,1
 15 = 100,9
 16 = 100,1
 17 = 102,7
 18 = 101,4
 19 = 103,0
 20 = 99,9
 21 = 100,1
 22 = 99,7
 23 = 102,9

Betrachtet man die in ein Koordinatensystem eingezeichneten Werte, so kann man deutlich erkennen: Im zweiten Drittel findet sich eine betonte Senkung, im letzten Drittel ist diese weniger stark ausgeprägt. Das erste und letzte Drittel dagegen sind durch Erhebungen gekennzeichnet. Es läßt sich also nach rechnerischem Phasenausgleich aus diesen 10 Versuchen eine Kurve darstellen, deren Verlauf zwei Hebungen (Maxima) und zwei Senkungen (Minima) aufweist. Von den Extremwerten ist jeweils einer stärker betont. Diese zweigipfelige Form der Tageskurve ist in der Literatur schon mehrfach beschrieben: Graf (10), Menzel (30), Lehmann (26), Aschoff (1), Berges (2), Klaus und Berges (23), Kellersmann (20), Klaus und Clasing (24).

← Tab. II Werte der aus 10 Versuchen erhaltenen Mittelwertskurve nach rechnerischem Phasenausgleich

Zur weiteren Darstellung versuchen wir jetzt, diese wellenförmige Kurve, die durch zwei Maxima und zwei Minima gekennzeichnet ist, zwischen die systolischen Meßwerte (Abb. 2) zu zeichnen und zwar in der Art, daß möglichst viele Punkte an oder in der Nähe der Kurve liegen. Die Abb. 8–24 zeigen die systolischen Werte der einzelnen Versuche, in welche Kurven nach Abb. 7 eingezeichnet sind. Die Hauptextremwerte sind unterstrichen.

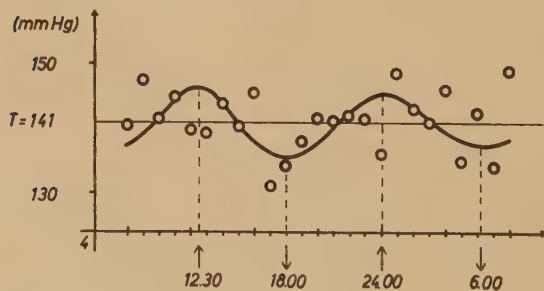


Abb. 8 Versuch 4, 24. 10. 1958, W. B., 24 J.

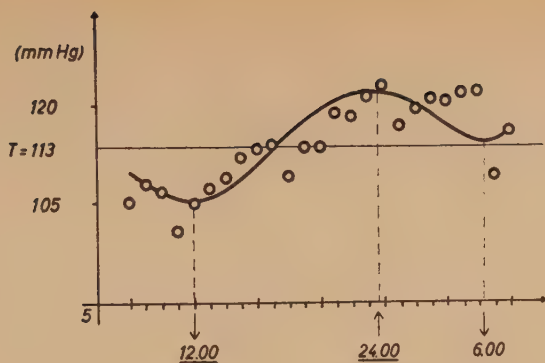


Abb. 9 Versuch 5, 31. 10. 1958, K. C., 19 J.

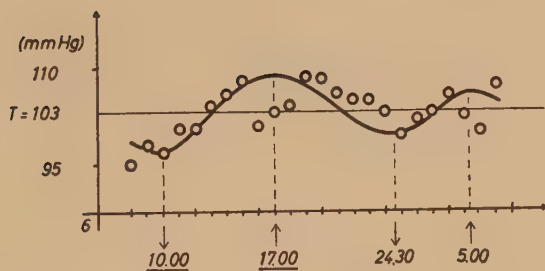


Abb. 10 Versuch 6, 12. 11. 1958, W. T., 24 J.

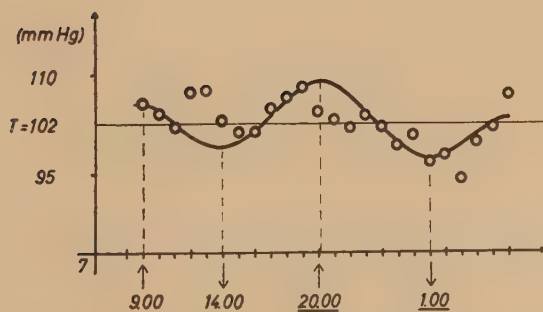


Abb. 11 Versuch 7, 3. 12. 1958, H. U., 23 J.

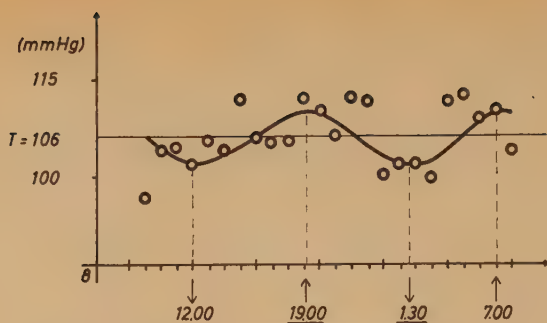


Abb. 12 Versuch 8, 3. 12. 1958, H. P., 20 J.

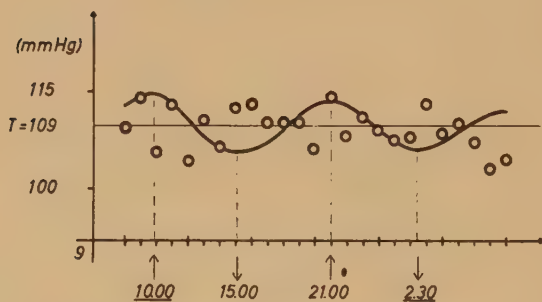


Abb. 13 Versuch 9, 16. 12. 1958, K. Z., 21 J.

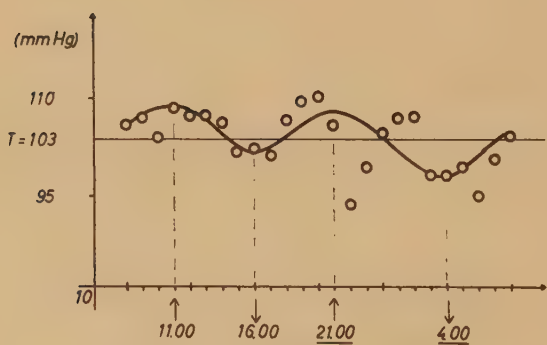


Abb. 14 Versuch 10, 16. 12. 1958, B. L., 22 J.

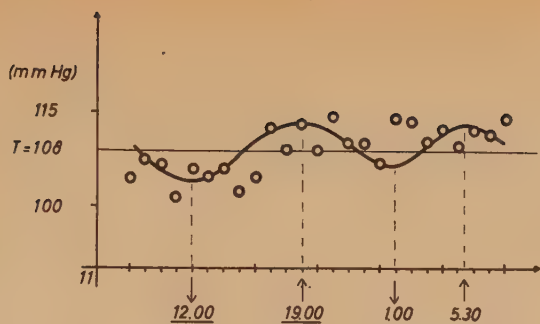


Abb. 15 Versuch 11, 19. 12. 1958, H. T., 23 J.

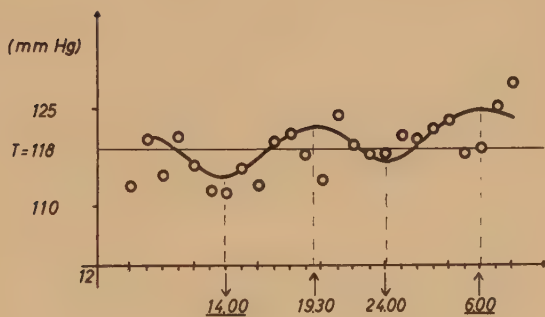


Abb. 16 Versuch 12, 7. 1. 1959, K. B., 24 J.

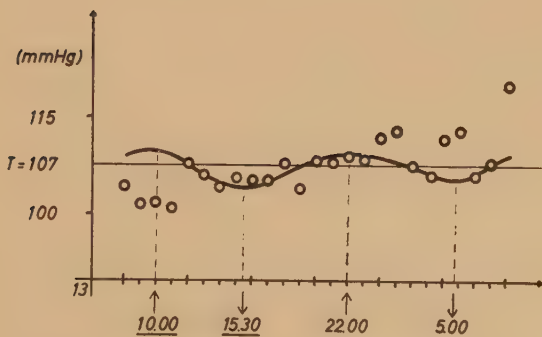


Abb. 17 Versuch 13, 7. 1. 1959, W. K., 23 J.

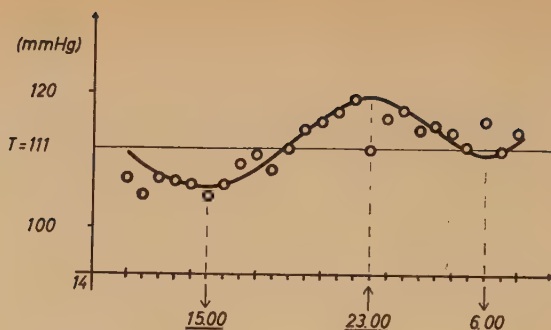


Abb. 18 Versuch 14, 9. 1. 1959, A. M., 20 J.

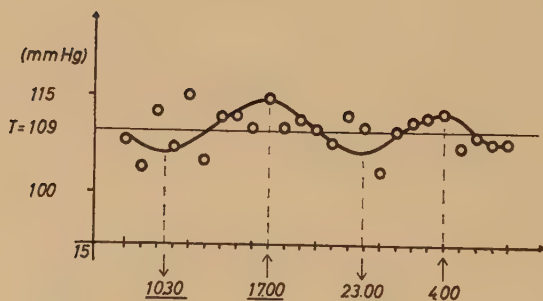


Abb. 19 Versuch 15, 14. 1. 1959, Kh. R., 21 J.

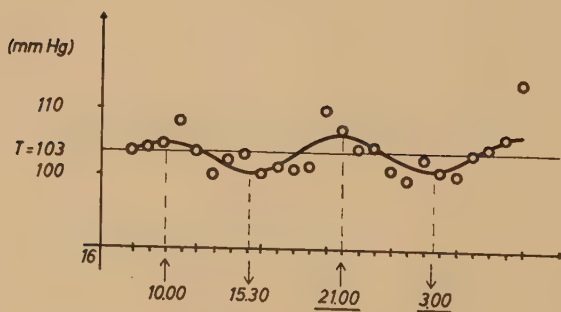


Abb. 20 Versuch 16, 14. 1. 1959, H. O., 20 J.

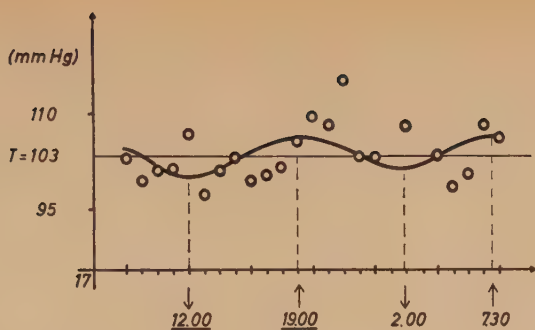


Abb. 21 Versuch 17, 30. 1. 1959, A. R., 21 J.

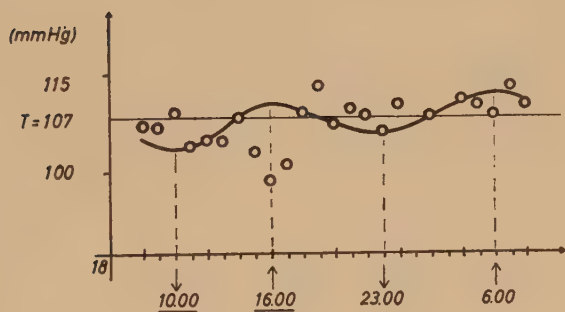


Abb. 22 Versuch 18, 30. 1. 1959, W. R., 23 J.

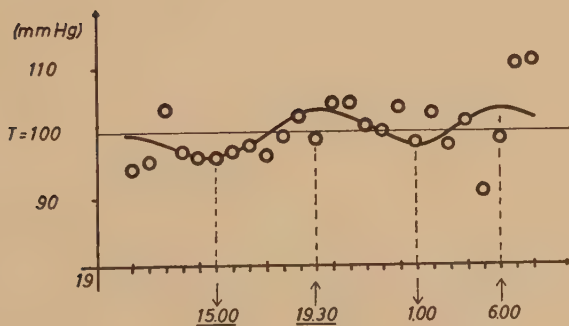


Abb. 23 Versuch 19, 14. 2. 1959, D. C., 23 J.

In 15 Versuchen läßt sich die Tageskurve der systolischen Blutdruckwerte mit zwei Maxima und 2 Minima darstellen. Versuch 5 und 14 sind dadurch gekennzeichnet, daß sie je ein Hauptmaximum, ein Hauptminimum und außerdem ein Nebenminimum enthalten.

Der genaue Ausgleich der Phasendifferenz kann nun zeichnerisch erfolgen: Der Meßwert, der dem gezeichneten Hauptmaximum entspricht, wird auf den obersten Platz einer Tabelle geschrieben, die anderen Werte folgen. Es stehen so in der 1. Reihe die Werte der Hauptmaxima aller Versuche. Der Mittelwert für die jeweilige Stunde ergibt Tab. III.

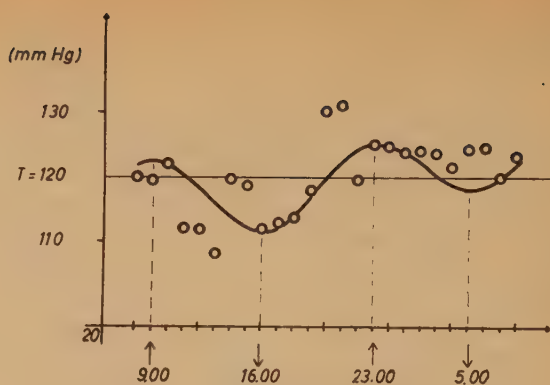


Abb. 24 Versuch 20, 20. 2. 1959, R. H., 27 J.

0	=	102,1
1	=	102,4
2	=	102,4
3	=	101,7
4	=	100,5
5	=	100,0
6	=	99,8
7	=	99,1
8	=	99,1
9	=	99,9
10	=	98,8
11	=	99,2
12	=	99,4
13	=	100,4
14	=	98,6
15	=	100,0
16	=	98,2
17	=	98,2
18	=	98,1
19	=	98,4
20	=	99,6
21	=	100,7
22	=	101,8
23	=	101,8

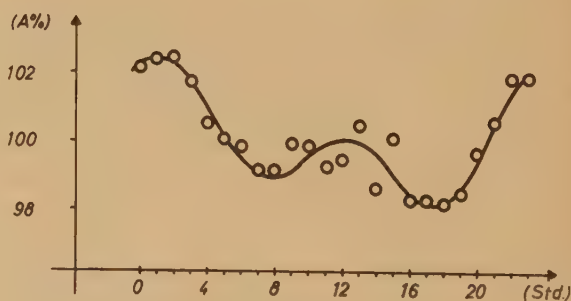


Abb. 25

Mittelwertskurve des systolischen Blutdrucks, aus 17 Versuchen ermittelt nach zeichnerischem Phasenausgleich

← Tab. III Meßwerte der auf zeichnerischem Wege bestimmten Mittelwertskurve des systolischen Blutdrucks

Abb. 25 zeigt den zweigipfligen Verlauf der Mittelwertskurve des systolischen Blutdrucks. Hier kommt die Zweigipfligkeit der Kurve, die in Abb. 4 (mittlere relative systolische Blutdruckwerte, Tagesmittel: 100%) schon angedeutet und in Abb. 7 (die aus 10 Versuchen erhaltene Mittelwertskurve nach rechnerischem Phasenausgleich für den systolischen Blutdruck) klar zu erkennen ist, deutlich zum Ausdruck. Die Kurve weist je einen Haupt- und einen Nebenextremwert auf. Die Extremwerte folgen im Abstand von nahezu 6 Stunden aufeinander.

Um viel rechnerischen Aufwand zu ersparen, wurde darauf verzichtet, auch für den diastolischen Blutdruck, die Amplitude des Blutdrucks und den arteriellen Mitteldruck die Phasenverschiebung rechnerisch zu bestimmen. Wir gingen von der Überlegung aus, daß bei zwei so eng miteinander gekoppelten Phänomenen – wie dem systolischen und diastolischen Blutdruck – nicht zwei grundverschiedene Kurventypen zum Vorschein kommen könnten, da die Probanden für gesund befunden und bei ihnen keine pathologischen Befunde des Kreislaufs insbesondere keine Regulationsstörungen festgestellt worden waren. Die Abb. 26–42 zeigen die diastolischen Blutdruckwerte mit eingezeichneten Tageskurven.

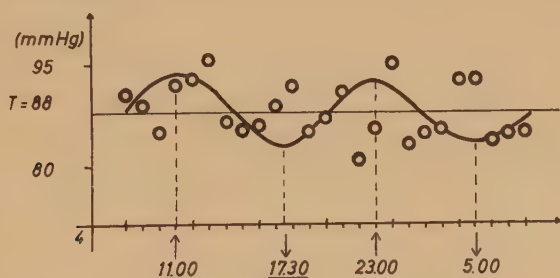


Abb. 26 Versuch 4, 24. 10. 1958, W. B., 24 J.

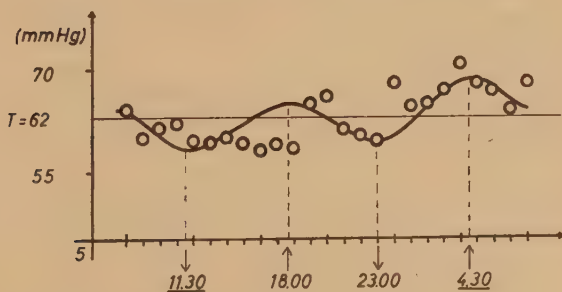


Abb. 27 Versuch 5, 31. 10. 1958, K. C., 19 J.

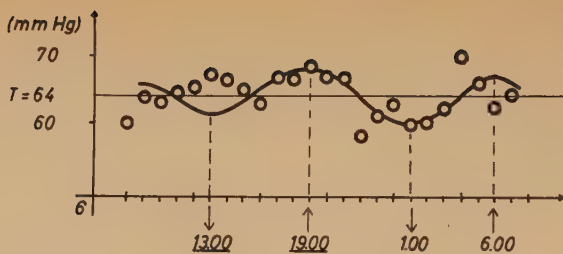


Abb. 28 Versuch 6, 12. 11. 1958, W. T., 24 J.

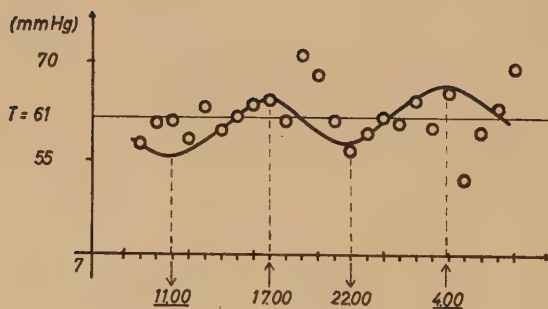


Abb. 29 Versuch 7, 3. 12. 1958, H. U., 23 J.

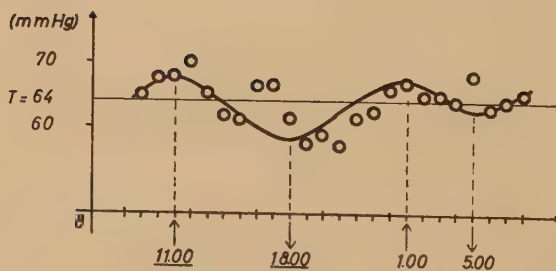


Abb. 30 Versuch 8, 3. 12. 1958, H. P., 20 J.

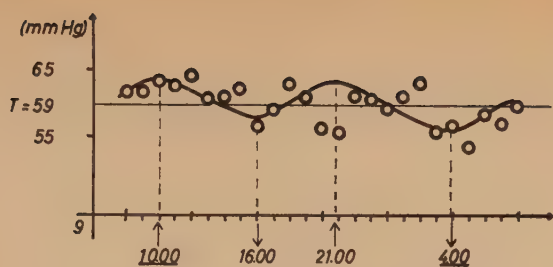


Abb. 31 Versuch 9, 16. 12. 1958, K. Z., 21 J.

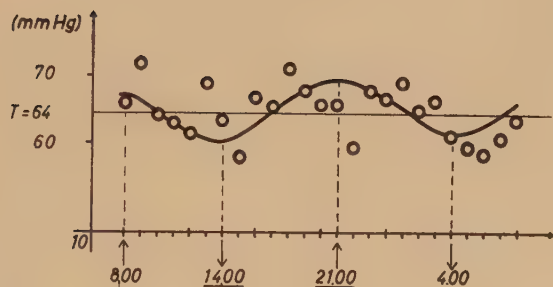


Abb. 32 Versuch 10, 16. 12. 1958, B. L., 22 J.

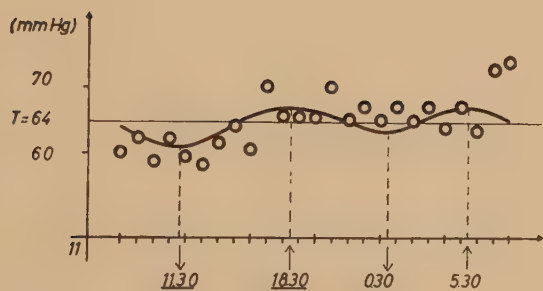


Abb. 33 Versuch 11, 19. 12. 1958, H. T., 23 J.

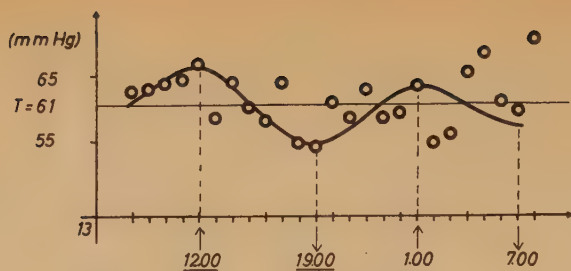


Abb. 34 Versuch 12, 7. 1. 1959, K. B., 24 J.

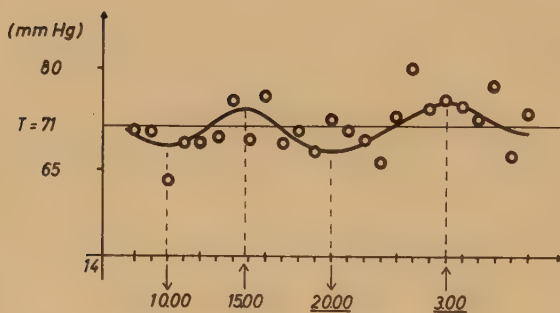


Abb. 35 Versuch 13, 7. 1. 1959, W. K., 23 J.

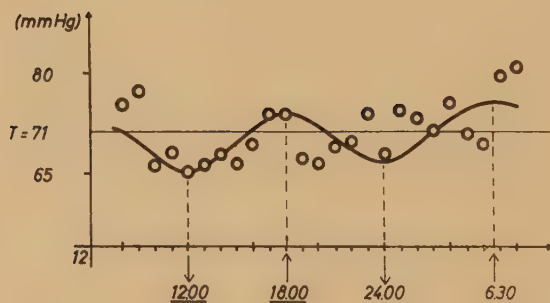


Abb. 36 Versuch 14, 9. 1. 1959, A. M., 20 J.

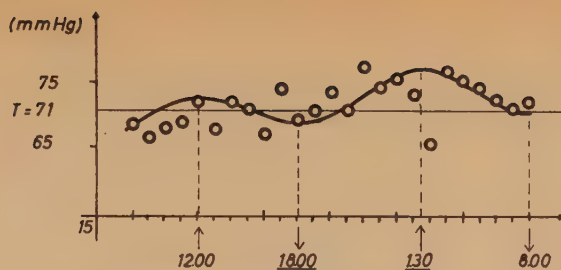


Abb. 37 Versuch 15, 14. 1. 1959, Kh. R., 21 J.

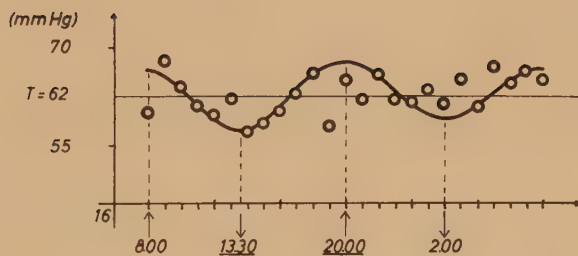


Abb. 38 Versuch 16, 14. 1. 1959, H. O., 20 J.

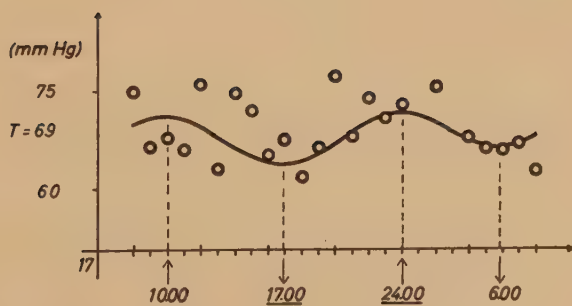


Abb. 39 Versuch 17, 30. 1. 1959, A. R., 21 J.

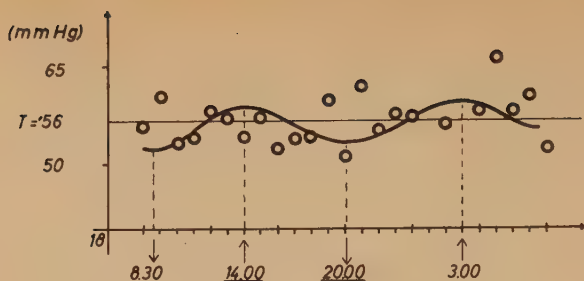


Abb. 40 Versuch 18, 30. 1. 1959, W. R., 23 J.

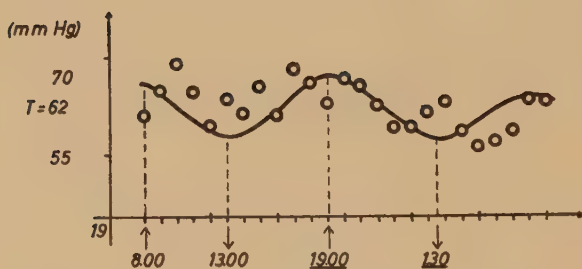


Abb. 41 Versuch 19, 14. 2. 1959, D. C., 23 J.

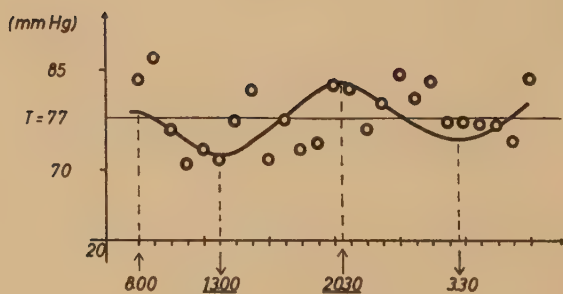
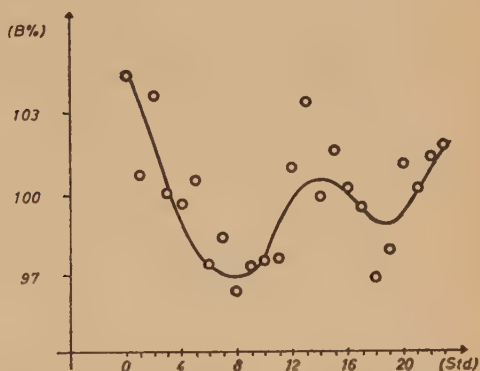


Abb. 42 Versuch 20, 20. 2. 1959, R. H., 27 J.

Bei allen 17 Versuchen zeigt sich eine Tageskurve mit 2 Hebungen und 2 Senkungen, von denen je eine stärker betont ist. Nach oben beschriebenen Phasenausgleich erhält man Abb. 43 als Mittelwertskurve des diastolischen Blutdrucks der 17 Versuche. Die Zweigipfligkeit der Tagesmittelkurve, die Abb. 25 für den systolischen Blutdruck zeigte, kommt auch beim diastolischen Blutdruck deutlich zum Ausdruck. Die Kurve weist ebenfalls je einen Haupt- und einen Nebenextremwert auf. Die Extremwerte folgen im Abstand von nahezu sechs Stunden aufeinander.

Abb. 43
Tageskurve des
diastolischen Blutdrucks,
Mittelwertskurve
aus 17 Versuchen
(Phasenverschiebung
zeichnerisch
ausgeglichen)



Nach dem gleichen Verfahren wie für den systolischen und den diastolischen Blutdruck wurden für die Amplitude des Blutdrucks und den arteriellen Mitteldruck die Tagesmittelwertskurven bestimmt (Abb. 44 und 45). Die Tageskurven der einzelnen Versuche werden nicht aufgeführt, die Mittelwertskurve ist aus den 17 Versuchen zusammengestellt.

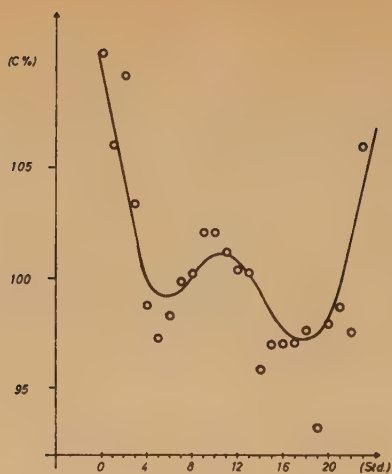


Abb. 44

Tageskurve der Amplitude des Blutdrucks, Tageskurve aus 17 Versuchen
(Phasenverschiebung zeichnerisch ausgeglichen)

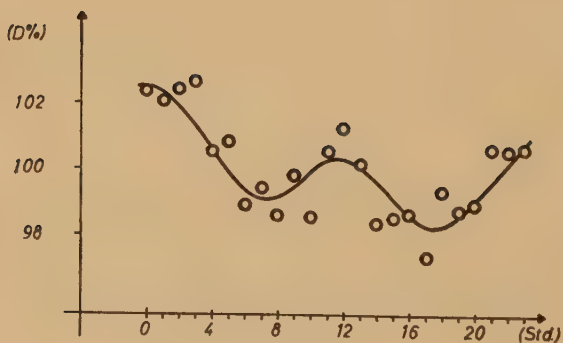


Abb. 45

Tageskurve des arteriellen Mitteldrucks, Tageskurve aus 17 Versuchen
(Phasenverschiebung zeichnerisch ausgeglichen)

Wie für den systolischen Blutdruck (Abb. 25) und den diastolischen Blutdruck (Abb. 43) so läßt sich auch für den arteriellen Mitteldruck und die Blutdruckamplitude je eine Tagesmittelkurve mit zwei Maxima und zwei Minima ermitteln.

Die Variationsbreite der untersuchten Blutdruckwerte war in den einzelnen Versuchen sehr unterschiedlich. Sie lag beim systolischen Druck zwischen 23,2 und 11,3 mm Hg bei einer Durchschnittsschwankungsbreite – aus 17 Versuchen errechnet – von 16,4 mm Hg. Die Verhältnisse beim diastolischen Druck: 18,7 – 10,5 bei 14,1 mm Hg; Blutdruckamplitude: 24,5 – 10,2 bei 17,2 mm Hg; arterieller Mitteldruck: 16,8 – 8,2 bei 12,3 mm Hg. In Tab. IV ist die Häufigkeit der Schwankungsbreite in einzelnen Abschnitten (von jeweils 5 mm Hg) aufgeführt.

	Klassen der Variationsbreite			
	—10	10—15	15—20	20 mm Hg
syst. Druck		7	7	3
diast. Druck		10	7	
Ampl.		5	9	3
art. M-Druck	4	9	4	

Tab. IV
Die Häufigkeit in den Klassen der Variationsbreite

Die Untersuchungen der Abhängigkeit zwischen Variationsbreite des systolischen Blutdrucks und Höhe des Tagesniveaus (T) haben kein statistisch zu sicherndes Ergebnis geliefert.

Eine Zusammenfassung der Abb. 8–24 bringt Abb. 46. Sie deutet an, daß die Gipfel der Tageskurven der Ordinatenachse um so näher liegen, je höher das Tagesniveau (T) der Kurve ist.

Zur Prüfung der Frage, inwieweit Tagesmittelwert (T) und tageszeitliche Lage der Extremwerte des systolischen Blutdrucks in Beziehung zueinander stehen, entnehmen wir den Abb. 8–24 die Tageszeiten, bei denen die Kurven ihre Extremwerte aufweisen und tragen die Zeiten in Tab. V ein. Die Versuche sind nach der Höhe des Tagesniveaus (T) geordnet. In Rubrik 1 stehen die Tageszeiten der Hauptmaxima.

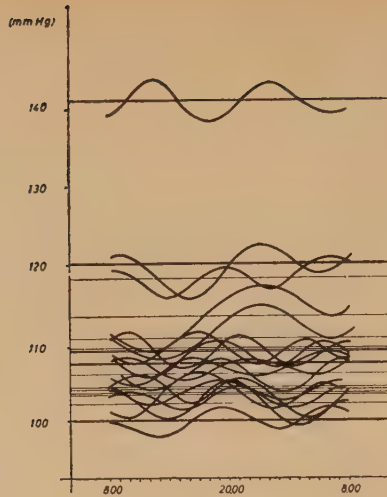


Abb. 46

Zusammenfassende Darstellung der Tageskurven der Abb. 8–24

	T	1	2	3	4
	mm Hg	Uhr	Uhr	Uhr	Uhr
19	100,1	19.30	1.00	6.00	15.00
7	102,6	20.00	1.00	9.00	14.00
6	103,1	17.00	0.30	5.00	10.00
16	103,3	21.00	3.00	10.00	15.30
17	103,6	19.00	2.00	7.30	12.00
10	103,7	21.00	4.00	11.00	16.00
8	106,2	19.00	1.30	7.00	12.00
18	107,3	16.00	23.00	6.00	10.00
13	107,4	10.00	15.30	22.00	5.00
11	108,8	5.30	12.00	19.00	1.00
9	109,0	10.00	15.00	21.00	2.30
15	109,6	4.00	10.30	17.00	23.00
14	111,5	23.00	6.00		15.00
5	113,7	24.00	6.00		12.00
12	118,8	6.00	14.00	19.30	24.00
20	120,1	23.00	5.00	9.00	16.00
4	141,0	24.00	6.00	12.30	18.00

Tab. V

Tageszeitliche Lage der Extremwerte des systolischen Blutdrucks nach der Höhe des Tagesniveaus geordnet

Mit den Werten der Tab. V lassen sich 4 Regressions- bzw. Korrelationskoeffizienten berechnen. (Wir lassen die Werte der Versuche 5 und 14 unberücksichtigt, da sie nicht die 12-Stunden-Periodik aufweisen.) Soweit in einer Rubrik der Tabelle Werte vor und nach Mitternacht vorkommen, werden die später als 24 Uhr liegenden Werte in der Rechnung mit der Größe $y = 24 + z$ (z = Zeit nach Mitternacht) eingesetzt. In Tab. VI sind die Ergebnisse zusammengestellt. Die Indizes der Tab. V und VI stimmen überein.

i	b_i	b_i^+	r_i	$\bar{x}$ (T)	$\bar{y}$ (Zeit)
1	-0,56	-0,96	-0,73	109,6	13
2	-0,57	-0,99	-0,75	109,6	19
3	-0,59	-0,77	-0,67	109,6	1
4	-0,56	-1,06	-0,77	109,6	7
	-0,57	-0,94	-0,74	-	-

Tab. VI

Regressions- bzw. Korrelationskoeffizienten zur Beziehung zwischen Tagesniveau und tageszeitlicher Lage der Extremwerte (vgl. Abb. 47)

Wie aus Tab. VI zu ersehen ist, besteht eine negative Korrelation zwischen Tagesmittelwert und tageszeitlicher Lage der Extremwerte, die als gesichert angesehen werden kann, da sich für $r = -0,74$ ein $t = -3,976$ ergibt. Es liegt außerhalb der Sicherheitsschwellen, welche bei $n = 13$

$$P = 0,05 \quad t = \pm 2,160$$

$$\text{ sowie } P = 0,01 \quad t = \pm 3,012 \text{ betragen.}$$

Die Abstände zwischen den 4 Regressionsgraden können nicht geprüft werden, weil der zeitliche Abstand von etwa sechs Stunden nach der Form der Tagesmittelkurve vorausgesetzt wurde. Deshalb müssen sich die Regressionsgraden in Abb. 47 als Parallelen mit einem Abstand von sechs Stunden darstellen.

Ihre Gleichungen lauten:

$$\begin{aligned} y_1 &= -0,94 x + 20 \\ y_2 &= -0,94 x + 2 \quad y = \text{Uhrzeit} \\ y_3 &= -0,94 x + 8 \quad x = \text{Tagesmittel} \\ y_4 &= -0,94 x + 14 \end{aligned}$$

Untersucht man – unabhängig von der vorangegangenen Betrachtung – in welchen Tagesabschnitten die Maxima bzw. Minima gehäuft auftreten, so ergibt sich, daß die Gipfel der Tageskurven in den frühen Morgenstunden (4–10 Uhr) und nachmittags (16–22 Uhr) vermehrt auftreten. Die Minima sind um die Mittagszeit und nachts (10–16 und 22–4 Uhr) zu finden. Diese Tagesabschnitte sind in Abb. 47 durch senkrechte Linien hervorgehoben.

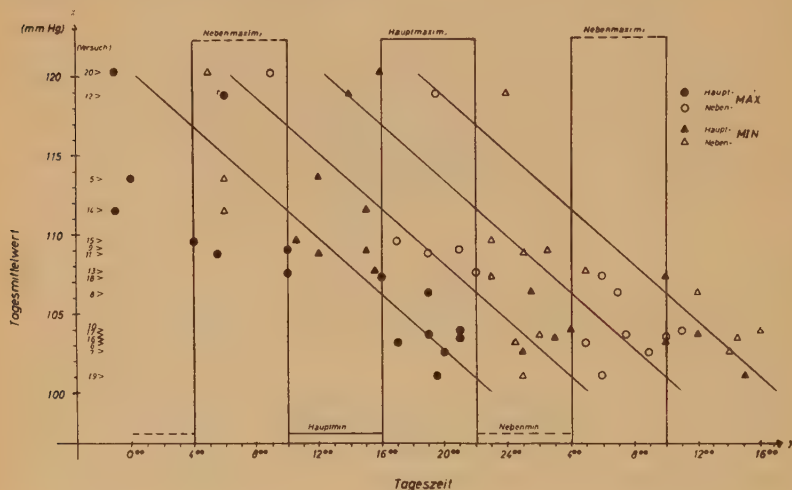


Abb. 47

Korrelation zwischen Tagesmittel (T) und tageszeitlicher Lage der Extremwerte. Die Senkrechten deuten die Tagesabschnitte an, in denen die Maxima bzw. Minima gehäuft auftreten

In Tab. VII sind die Tagesmittelwerte für die einzelnen Versuche zusammengestellt. Als Grundlage dienten stündliche Messungen des Blutdruckes bei trainierten Sportstudenten. Die Ergebnisse sind als (absolute) Ruhewerte bei Nahrungskarenz zu betrachten. Die Messungen erfolgten stündlich, von 8 Uhr bis zum nächsten Morgen um 8 Uhr. Der Mittelwert ist jeweils aus 25 Messungen errechnet.

Der höchste Mittelwert des systolischen Druckes

 beträgt 141,0 mm Hg

 der niedrigste 100,1 mm Hg

der Durchschnittswert der systolischen Werte
 aller Versuche 109,9 mm Hg

Die Verhältnisse beim diastolischen Druck:

max. 88,1 mm Hg
 min. 56,5 mm Hg
 Durchschnittswert 66,6 mm Hg

Die Verhältnisse bei der Amplitude des Blutdrucks:

max. 52,9 mm Hg
 min. 34,5 mm Hg
 Durchschnittswert 43,3 mm Hg

Die Verhältnisse beim arteriellen Mitteldruck:

max. 114,5 mm Hg
 min. 81,3 mm Hg
 Durchschnittswert 88,3 mm Hg

Ver- such	syst.	diast.	Ampl.	art. Md.
4	141,0	88,1	52,9	114,5
5	113,7	62,9	50,8	88,3
6	103,1	64,1	38,9	83,6
7	102,6	61,6	41,0	82,1
8	106,2	64,0	42,1	85,1
9	109,0	59,6	49,4	84,3
10	103,7	64,7	39,0	84,2
11	108,8	64,8	43,9	86,8
12	118,8	71,2	47,5	95,0
13	107,4	61,3	46,1	84,3
14	111,5	71,5	39,9	91,5
15	109,6	71,3	38,2	90,5
16	103,3	62,6	40,6	82,9
17	103,6	69,1	34,5	86,4
18	107,3	56,5	50,8	81,9
19	100,1	62,5	37,5	81,3
20	120,1	77,9	42,1	99,0
M	109,9	66,6	43,3	88,3

Tab. VII

Tagesmittelwerte (T) der einzelnen Versuche
 Mittelwert aus jeweils 25 Messungen

Besprechung der Ergebnisse

1. Form der Kurven

Wie schon während der Darstellung der Ergebnisse berichtet, ist es mit Schwierigkeiten verbunden, beim Gesunden oder auch beim Kranken genaue Kurvenbilder für registrierte Körperfunktionen zu erhalten. In Bezug auf Amplitude, Phasenlage, Form, Grad der Regelmäßigkeit ist die Variabilität sehr groß, sie wird noch verstärkt durch die komplizierten Beziehungen, die diese Größen zueinander haben.

Die rhythmischen Vorgänge von Organismen ergeben nach ihrer Periodendauer geordnet ein Spektrum, das sich von Bruchteilen von Sekunden bis zur Größenordnung von Jahren erstreckt (Hildebrandt [12], Bü n n i n g [8]). Die schnellsten Rhythmen finden sich im Bereich hochspezialisierter Strukturen und Organe des Körpers. Ihre Frequenz reicht bei den nervösen Aktionspotentialen an eine absolute Grenze. Fließende Übergänge finden sich in der Periodendauer von Bruchteilen einer Sekunde über den Tagesrhythmus und den 28tägigen Menstruationszyklus bis zu den Rhythmen mit Periodendauer von mehreren Monaten und Jahren (M e n z e l [33]).

Bei Untersuchungen von Organfunktionen auf ihr rhythmisches Verhalten fand M e n z e l (33) neben der 24-Stunden-Periodik noch 12-, 8-, 6stündige Perioden für ein und dieselbe untersuchte Funktion. Für die Körpertemperatur, die Chlor-, die Harnstoff- und die Kreatininausscheidung fand er mit wechselnder Häufigkeit 24stündige Perioden und deren Submultipla, die 12-, 8- und 6stündigen Perioden. Zählt man die Häufigkeit der unter gleichen Bedingungen erlangten Periodizitäten aus, so ergibt sich eindeutig ein Überwiegen der 24-Stunden-Rhythmik. An zweiter Stelle der Häufigkeitsskala steht die 12-Stunden-Periodik (M e n z e l [31]).

Die Schwierigkeit, den Typ der Grundkurve zu erkennen, tritt dann auf, wenn Kurven verschiedener Perioden miteinander interferieren; wenn dazu noch die Phasenlagen gegeneinander verschoben sind, kann ein Kurvenbild entstehen, aus dem der Grundtyp der Tageskurve der untersuchten Organfunktion nicht ohne weiteres zu erkennen ist. M e n z e l hat ein von Blume (3) entwickeltes Verfahren zur mathematischen Analyse solcher komplizierter Kurvenzüge in die Rhythmusforschung eingeführt (M e n z e l [31], Blume [3, 4]). Dieses Verfahren, das wohl die günstigsten Ergebnisse liefert, war uns nicht zugänglich. Wir haben nach einer rechnerischen Methode von B e r g e s (2) den Grundcharakter der Kurve ermittelt. Das errechnete Ergebnis wurde durch die Tageskurve nach zeichnerischem Phasenausgleich bestätigt. Wir erhielten eine gemittelte Tageskurve

aus 17 Versuchen sowohl für den systolischen als auch für den diastolischen Blutdruck, die Amplitude des Blutdrucks und den arteriellen Mitteldruck, die zwei Maxima und zwei Minima aufweist, von denen je eins stärker betont ist. Die zeitlichen Abstände der Extremwerte betragen nahezu sechs Stunden.

Zweigipflige Tageskurven wurden schon von zahlreichen Autoren für unterschiedliche Organfunktionen beschrieben (Menzel [31, 34], Aschoff [1], Rutenfranz [39], Berges [2], Klaus und Berges [23], Kellersmann [20], Klaus und Clasing [24] u. a.).

Über eine 12-Stunden-Periodik des Blutdrucks ist wenig bekannt. Menzel (32) berichtet, daß chronisch Schlaflose keine 24-Stunden-Periodik des Blutdrucks aufweisen, sondern je ein Maximum des systolischen Druckes zwischen 8.00 und 11.00 Uhr und nachmittags zwischen 17.00 und 20.00 Uhr zeigen. Kaiser und Maurath (19) fanden bei ihren Untersuchungen an einem Probanden eine 12-Stunden-Periodik des Blutdrucks mit Maxima um 8.00 und 20.00 Uhr und Minima um 14.00 und 2.00 Uhr. Sauer (40) registrierte bei einigen seiner Versuchspersonen gegen 6.00 Uhr eine «zusätzliche» leichte Drucksteigerung, was eine Zacke in der sonst gleichmäßig verlaufenden Sinuskurve seiner 24-Stunden-Periodik zur Folge hat.

Viel häufiger als die 12-Stunden-Periodik ist eine 24-Stunden-Periodik des Blutdrucks in der Literatur beschrieben worden (Jores [14], Kylin [25], Menzel [29], Sauer [40], Kaiser und Maurath [19], Menzel [33, 34], Keuth [21] u. a.). Eine Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse mag in den oben angeführten Erläuterungen Menzels (32) über die 24-Stunden-Periodik und deren Submultipla zu finden sein, sicher aber sind die zeitlichen Abstände, in denen die Messungen vorgenommen wurden, von entscheidender Bedeutung. Im Gegensatz zu vielen Untersuchern, die zwischen ihren Registrierungen ein zwei- oder mehrstündiges Intervall eingeschoben hatten (Jores [14], Menzel [29], Sauer [40]), folgten wir einer persönlichen Anregung Blumes und nahmen unsere Messungen in stündlichem Abstand vor. Durch die größere Wertezahl ist ein genaueres Bild der Veränderungen im Tagesablauf gewährleistet.

Für den systolischen Blutdruck ergaben sich bei 17 Versuchen 15 Tageskurven mit einer 12-Stunden-Periodik, bei zwei Kurven (also bei 12%) ergab sich ein anders geartetes Kurvenbild. Es fanden sich je ein Hauptmaximum und ein Hauptminimum und außerdem noch je ein Nebenminimum. Für den diastolischen Blutdruck fand sich als Ergebnis: alle 17 Kurven weisen das Bild der 12-Stunden-Periodik mit je einem Haupt- und Nebenextremwert auf. Eine Erklärung für die

unterschiedlichen Ergebnisse bei den Untersuchungen des systolischen Druckes, für das Auffinden von 12- bzw. 18stündigen Perioden, kann in den Erläuterungen Menzels (32) über die 24-Stunden-Periodik und deren Submultipla gefunden werden, der angibt, daß bei ein und derselben beobachteten Organfunktion in wechselnder Häufigkeit Periodizitäten auftreten, die den 24-Stunden-Rhythmus oder deren Submultipla aufweisen.

Die Unterscheidung in Haupt- und Nebenextrem ist bei unseren Kurven manchmal schwer. Es ist auch nicht sehr wichtig. Wesentlicher ist, daß man die Formen der beim Blutdruck auftretenden Tageskurven als Interferenzkurven einer 12-Stunden-Periodik mit einer 24-Stunden-Periodik ansehen kann, was ja nach den Ergebnissen des Blumeschen Verfahrens als berechtigt erscheint.

Aus dieser beschränkten Anzahl von 17 Versuchen läßt sich kein grundsätzlicher Schluß ziehen, es kommt aber zum Ausdruck, daß der Blutdruck eines gesunden trainierten Sportlers, der sich zur Zeit des Versuches in äußerster Ruhelage befindet, eine 12-Stunden-Periodik seiner Tageskurven erkennen läßt.

2. Variationsbreite

Einfluß auf das Kurvenbild übt die Größe der Schwankungsbreite aus. Menzel (34, 35) erwähnt, daß der Blutdruck im Laufe von 24 Stunden gewöhnlich um so stärker schwankt je höher die Tageswerte liegen. Menzel stellt die Variationsbreite in Abhängigkeit vom Tagesniveau (T) des Blutdrucks. Die Korrelation zwischen Tagesniveau und Variationsbreite wurde von mehreren Autoren für unterschiedliche Organfunktionen gefunden, so von Sollberger (42) für den Glykogenrhythmus und den Rhythmus der Leukozyten bei asthenischen Kindern, von Hopmann (13) für den Blutzucker, von Berges (2) für die Muskelaktivität u. a.

Wir konnten bei unseren Versuchen die Abhängigkeit der Variationsbreite vom Tagesniveau wohl erkennen, aber erhielten keine statistisch gesicherte Signifikanz, was wohl aus den verhältnismäßig eng beieinanderliegenden Tagesmittelwerten zu erklären ist.

3. Tageszeitliche Lage der Extremwerte

Eine Abhängigkeit zweier Größen fand sich in der Korrelation zwischen Tagesmittelwert und tageszeitlicher Lage der Extremwerte. Ordnet man die Versuche nach der Höhe des Tagesniveaus, so stellt man fest, daß mit steigendem Tagesniveau die Phasenverschiebung immer in eine Richtung geht und daß die Extremwerte früher liegen. Dieses entspricht Ergebnissen, die Berges (2) für die Muskel-

aktivität erstmals beschrieb. Für die Pulswellengeschwindigkeit (Klaus und Clasing [24]) und sämtliche Größen des EKG mit Ausnahme der QRS-Dauer (Klaus und Berges [23], Kellersmann [20]) wurde ebenfalls eine Korrelation zwischen Tagesniveau und tageszeitlicher Lage der Extremwerte nachgewiesen.

Die Tageszeit der Extremwerte ist – wie diese Ergebnisse zeigen – nicht fixiert und streng auf einen bestimmten eng umschriebenen Tagesabschnitt zu beziehen. Deshalb werden oft unklare Angaben zur Tageszeit gemacht, wie «vormittags», «am späten Abend», «nachts» u. a. Ein Faktor, der Einfluß auf die tageszeitliche Lage der Extremwerte nimmt, dürfte wohl in der Höhe des Tagesmittelwertes zu finden sein. Außerdem werden die Periodendauer und überhaupt die Reaktionslage des vegetativen Systems maßgeblich an der Beeinflussung der tageszeitlichen Lage der Extremwerte beteiligt sein. Damit scheint sich ein Faktor zur Erklärung der Angaben Menzels (30) zu ergeben, daß bei verschiedenen Personen, auch wenn sie in ein und demselben Raum unter gleichen Bedingungen untersucht werden, die zeitliche Lage ihrer Extremwerte stark differieren kann, ebenso wie bei Untersuchungen gleicher Personen an verschiedenen Tagen (Längsschnittuntersuchungen) (Völker [43], Jores [14], Menzel [30, 31], Aschoff [1], Berges [2]).

Wir fanden keinen einheitlichen Zeitpunkt im Verlaufe des Tages, an dem alle Maxima bzw. Minima aufgetreten wären, was aus den vorangegangenen Erörterungen zu verstehen ist. Eine Häufung der Extremwerte fand sich für die Maxima in den frühen Morgenstunden und nachmittags (4–10 Uhr und 16–22 Uhr) und für die Minima um die Mittagszeit und nachts (10–16 Uhr und 22–4 Uhr). Diese Ergebnisse stimmen ungefähr mit den von Menzel (32) gemachten Angaben über die Blutdruckperiodik bei chronisch Schlaflosen überein, die für diese Größen nicht die einwellige 24-Stunden-Periodik sondern eine 12stündige mit Maxima morgens zwischen 8 Uhr und 11 Uhr und nachmittags zwischen 17–20 Uhr aufweisen. Auch die Tageszeiten der Autoren Kaiser und Maurath (19) fallen mit unseren Zeiten zusammen. Sie registrierten die Maxima um 8 Uhr und um 20 Uhr und die Minima um 14 und um 2 Uhr. Sauers (40) tageszeitlichen Angaben sprechen von einem Maximum 15–18 Uhr und einem Minimum 24–3 Uhr. Außerdem verzeichnet er einen leichten Druckanstieg um 6 Uhr.

Bei den Angaben der tageszeitlichen Lage der Extremwerte bei den Untersuchungen mit 24-Stunden-Periodik des Blutdrucks fallen die Maxima in die Nachmittagszeit 12–22 Uhr und die Minima in die Nachtzeit (0–5 Uhr) (Jores [14], Kylin [25], Sauer [40], Kaiser und Maurath [19], Menzel [33, 34] Keuth [21] u. a.). Die

Nachmittagszeit von 16–20 Uhr und die Nachtstunden von 0–4 Uhr werden von den meisten Autoren als die Zeiten angegeben, in denen die Extremwerte vermehrt auftreten, wobei in den Nachtstunden die Minima zu finden sind. In diesem Zusammenhang kommt einer Beobachtung Jores' (17) bei zwei blinden Frauen besondere Bedeutung zu. Er wies nach, daß sich bei diesen Frauen, die ohne es zu wissen, sich im Dauerdunkel aufhielten, nach 24 Stunden die Temperaturkurven nivellierten. Daß die Hypophyse eine Abhängigkeit vom Licht zeigt, erklärt Jores (16) aus den Schwankungen des Melanophorenhormons im Blute. Damit scheint der Wechsel von Licht und Dunkel ein wichtiger exogener Faktor zu sein, der über den Optikus, den Nucleus supraoptikus und den Traktus hypophyseus supraoptikus auf die Hypophyse und damit auf das vegetativ endokrine System einwirkt (Jores [16]).

Ein weiteres interessantes Beispiel für exogene Einflüsse zeigt Frey (9) für die Abhängigkeit der Kreislaufgrößen vom Potential der Atmosphäre auf. Herabsetzung des Potentials, das normalerweise positiv ist, oder ein Übergang zu negativem Potential ist begleitet von einer Erniedrigung der Zirkulationsgrößen. Er kommt zu dem Ergebnis, daß negative atmosphärische Jonisation zirkulatorisch depressiv wirkt, ein Überwiegen der positiven Leitungsfähigkeit dagegen anregend. Diese wenigen Beispiele zeigen die Bedeutung der Umwelteinflüsse auf das Vegetativum und darüber hinaus auf die rhythmischen Veränderungen im Ablauf von Organfunktionen; denn nach Jores (14) sind alle Faktoren, die einem Tagesrhythmus unterliegen, vegetativ gesteuert und sprechen auf mannigfaltige Umwelteinflüsse an. Die Funktionen des Kreislaufs sind nach Jungmann (18) durch immerwährende Anpassung an die augenblickliche Umwelt und die jeweilige Verfassung des Individuums gekennzeichnet.

Auf die besondere Bedeutung des vegetativ endokrinen Systems, dessen Reaktionslage und Erregungszustand für die Schwankungen im Herz- und Kreislaufsystem ist von vielen Autoren hingewiesen worden (Jores [14, 15, 16, 17], Menzel [30], Aschoff [1], Reindell, Schildge, Klepzig, Kirchhoff [38], Schütz [41]).

Die Größe der Variationsbreite ist nach Jores (14) bei vegetativ leicht Erregbaren am stärksten. Dieses unterstreicht auch Menzel (30), der bei Patienten mit chronischen Krankheiten einen hypokymatischen Kurvenverlauf fand. Nach Jores (14) erlischt bei Moribunden die Tagesrhythmik. Bei Moribunden und chronisch Kranken ist eine beträchtliche Einschränkung ihrer Reaktionsfähigkeit zu verzeichnen, die das Vegetativum wohl in vielen Fällen mitbetrifft, so daß wir bei diesen Kranken über eine Einengung der vege-

tativen Erregbarkeit ein niedriges Tagesniveau und dadurch auch kleinere Kurvenamplituden erwarten können (Berges [2]). Hieraus ist zu ersehen, daß offenbar die vegetative Erregbarkeit an der Einstellung des Tagesniveaus wesentlich beteiligt ist, was ja auch durch die von mehreren Autoren (s. o.) beschriebene Korrelation zwischen Tagesniveau und Amplitude der Tageskurven zum Ausdruck kommt. Bemerkenswert ist auch in diesem Zusammenhang, daß die beiden Versuche mit Tageskurven, die durch drei Extremwerte gekennzeichnet sind, mit ihrem Tagesniveau oberhalb des gemittelten Tagesniveaus liegen und daß in diesen beiden Versuchen mit die größten Amplituden der Tageskurven zu finden sind. Während Versuch 14 ein ziemlich genaues 8stündiges Zeitintervall zeigt, überwiegt in Versuch 5 der 24-Stunden-Rhythmus in der Interferenzkurve von 24- und 12stündigen Perioden.

Ein weiterer Faktor, der auf das Tagesniveau Einfluß nimmt, könnte vielleicht in der Konstitution der Probanden zu finden sein, die eng mit dem Vegetativum gekoppelt ist. Menzel (32) beschreibt deutliche Unterschiede in der Pulsfrequenz zwischen Menschen mit leptosomem und pyknischem Habitus.

4. Physiologie der Blutdruckregulierung

Im lebenden Organismus wie auch in der Wechselwirkung des Organismus mit der Umwelt spielen Funktionskreise eine wichtige Rolle (Wagner [44]). In unserem Falle ist das Gefäßsystem die Regelstrecke, in der eine Betriebsgröße – der Blutdruck – auf dem Sollwert gehalten werden soll, auf dem Wert, der nach der augenblicklichen Reaktionslage des Körpers die optimalen Bedingungen für die Stoffwechselvorgänge und die Funktionsabläufe bietet. Dieser Sollwert wird praktisch nie erreicht. Der Wert der wirklich vorhandenen Größe wird mit Istwert bezeichnet. Die Abweichung zwischen Istwert und dem Sollwert wird von Fühlern über ein Meldesystem an ein Zentrum mitgeteilt. Im Zentrum werden Gegenmaßnahmen ausgelöst mit dem Bestreben, die Abweichung aufzuheben. Über den efferenten Apparat wird der Stellmotor im Sinne der regulierenden Gegenmaßnahmen beeinflußt (Wagner [44]). Den Sollwert eines Regelkreises sieht A s c h o f f (1) als eine tagesperiodische Schwankung nervöser Zentren an.

Betrachten wir den Blutkreislauf als Regelkreis, so stellen Gefäßsystem und Blutdruck Regelstrecke und Betriebsgröße dar. Die Rezeptorenfelder des Aortenbogens und Carotissinus dienen als Fühler, die Steigerungen des Blutdrucks über nervöse Bahnen zu den Hirnzentren, vornehmlich den vasomotorischen und vasokonstriktorischen Zentren am Boden des 4. Ventrikels melden. Über efferente Nerven-

bahnen wird die Gefäßmuskulatur als Stellmotor beeinflusst, der nun durch Kontraktion bzw. Dilatation versucht, den Anregungen des Zentrums zu folgen und Soll- und Istwert anzugleichen (Wetzler [45], Rein [37], Wagner [44]). Der Blutdruck ist aber nicht nur von diesem einfachen, recht schematisch dargestellten Regelkreis abhängig. Nach Wetzler (45) vollzieht sich die Regulierung des Blutdrucks in der Hauptsache durch das Mit- und Gegeneinander von drei Gruppen von Mechanismen, durch 1. eigenreflektorische, 2. fremdreflektorische und 3. zentralnervöse Steuerungen. Daraus ist zu ersehen, daß der Tonus der blutdruckregulierenden Zentren immerfort um Gleichgewichtslagen, die durch den Wettstreit von Erregung und Hemmung beeinflusst werden, schwanken muß. Die Tonusschwankungen des Vasomotorenzentrums erkennt Mathes (28) in den Blutdruckwellen III. Ordnung.

Von all den Komponenten, die auf den Blutdruck einwirken können, seien sie exogener oder endogener Herkunft, läßt sich keine herausgreifen, der man besonders hervorstechenden Einfluß auf die Regulierung des Tagesrhythmus zuschreiben kann, außer dem Vegetativum, das mit seiner Reaktionslage und Erregbarkeit sicherlich eine führende Stellung in der Bestimmung des Rhythmusgeschehens einnimmt.

Betrachtet man die zueinander gehörigen Tageskurven des systolischen und diastolischen Blutdrucks der einzelnen Versuche, so kann man den Ergebnissen von Menzel (29) und Sauer (40) nicht ohne weiteres zustimmen. Sie beschreiben für den systolischen und den diastolischen Blutdruck einen parallelen Kurvenverlauf. Bei unseren Untersuchungen finden sich – bezogen auf die tageszeitliche Lage der Extremwerte – drei Gruppen, in denen mit fast gleicher Häufigkeit das Mit- oder Gegeneinander der Tageskurven von systolischem und diastolischem Blutdruck auftritt: 1. eine Parallelität der Tageskurven d. h. Maxima und Minima beider Blutdruckkomponenten liegen zur gleichen Zeit (± 1 Stunde Differenz), 2. ein entgegengesetztes Verhalten, wobei Maxima und Minima bzw. umgekehrt aufeinander treffen und 3. vollkommen ungleichmäßiges Verhalten der rhythmischen Schwankungen (hierher gehören auch die Versuche, bei denen der systolische Druck drei, der diastolische dagegen vier Extremwerte aufweist).

Nach Kylin (11) zeigt der diastolische Wert im Verlauf des Tages einen annähernd konstanten Meßwert, d. h. der diastolische Druck hat eine geringe Schwankungsbreite. Bei unseren Untersuchungen ist die Schwankungsbreite des systolischen und des diastolischen Blutdrucks nahezu gleich. Sie beträgt im Mittel systolisch 16,4 und diastolisch 14,1 mm Hg. Sauer (40) nennt 14 bzw. 10 mm Hg, was

unseren Werten annähernd gleichzusetzen ist. Ebenso sind die Schwankungen der Blutdruckamplitude mit einem Mittel von 17,2 mm Hg und die des arteriellen Mitteldrucks mit 12,3 mm Hg sehr gering. Kylin (11) gibt als Mittel der Blutdruckamplitude 40 mm Hg, Reindell (38) 30–50 mm Hg bei Untersuchten in Ruhelage an. Neben den geringen Schwankungsbreiten der einzelnen Blutdruckkomponenten liegt auch das Mittel der Tagesmittelwerte tiefer als eine Statistik von Groh (11) angibt für fast gleichaltrige Studenten. Er stellte bei 891 ambulanten Untersuchungen ein Mittel von 126/80 mm Hg fest. Unsere Werte liegen mit 109,9/66,6 mm Hg beträchtlich unter seinen Ergebnissen. Die geringen Schwankungsbreiten und die niedrigen Tagesmittelwerte des Blutdrucks in unseren Untersuchungen lassen sich zum Teil wohl auf die äußerste Ruhelage während der Versuche und auf Unterschiede im Trainingszustand (Trainingshypotonie) zurückführen.

Zusammenfassung

An 17 gesunden Sportstudenten und Wettkampfsportlern der Universität Münster wurde nach dem «Infraton-Verfahren» von Boucke und Brecht der Blutdruck über 24 Stunden in Abständen von 60 Minuten gemessen. Die Probanden lagen während der Untersuchungen zu Bett. Weder Nahrungs- noch Flüssigkeitszufuhr wurde gewährt. Es wurden der systolische und der diastolische Blutdruck, die Amplitude des Blutdrucks und der arterielle Mitteldruck ausgewertet. Die Tagesmittelwerte der Blutdruckgrößen lagen für den

systolischen Blutdruck	zwischen 100,1 u. 141,0 mm Hg,
den diastolischen Blutdruck	zwischen 56,5 u. 88,1 mm Hg,
die Amplitude des Blutdrucks	zwischen 34,5 u. 52,9 mm Hg
und den arteriellen Mitteldruck	zwischen 81,3 u. 114,5 mm Hg.

Die Untersuchungen ergaben:

1. Der Tagesgang der Blutdruckkomponenten entspricht weitgehend dem tagesrhythmischen Verhalten anderer biologischer Rhythmen, deren Tageskurven bekannt sind.
2. a) Die Tageskurve des systolischen Blutdrucks zeigt bei 15 Versuchen zwei Maxima und zwei Minima (12-Stunden-Periodik), bei 2 Versuchen ein Maximum und zwei Minima.
- b) Die Tageskurve des diastolischen Blutdrucks weist bei allen 17 Versuchen je zwei Maxima und zwei Minima auf (12-Stunden-Periodik).

3. Bei den Extremwerten kann bei der Amplitude der Tageskurve zwischen «Haupt-» und «Nebenextremwert» unterschieden werden. Es wird als eine Überlagerung einer 12stündigen durch eine 24stündige Periodik aufgefaßt.
4. Für den systolischen und den diastolischen Blutdruck, die Amplitude des Blutdrucks und den arteriellen Mitteldruck wurde je eine aus 17 Versuchen gemittelte Tageskurve erhalten, die zwei Maxima und zwei Minima aufweist. Die Extremwerte folgen in Abständen von nahezu 6 Stunden aufeinander.
5. Zwischen Tagesmittelwert (T) und tageszeitlicher Lage der Extremwerte besteht für den systolischen Blutdruck folgende Beziehung, die statistisch gesichert ist:

Je höher der Tagesmittelwert (T), desto früher liegen die Extremwerte. Die Abhängigkeit ist linear, der Korrelationskoeffizient beträgt $r = -0,74$.

Literatur

- 1 Aschoff, J.: Der Tagesgang der Körpertemperatur beim Menschen. Klin. Wschr. **33**, 545, 1955.
- 2 Berges, D.: Elektromyographische Untersuchungen an Sportlern zur Frage einer Tagesrhythmik der Muskelaktivität. Med. Diss., Münster 1957 – Internat. Zschr. angew. Physiol. **17**, 57, 1958.
- 3 Blume, J.: Über die Analyse kurzer Kurvenzüge. Zschr. angew. Math. Mech. **23**, 346, 1943.
- 4 Blume, J.: Grundsätze und Erfahrungen der Periodenbestimmung medizinischer Kurven. Verh. 4. Konf. internat. Ges. Biol. Rhythmusforsch. 1953. Acta med. scand. Suppl. 307, 1955.
- 5 Brecht, K., Boucke, H.: Ein Verfahren zur graphischen Ermittlung des systolischen und diastolischen Blutdrucks an den größeren und kleineren Arterien (z. B. Finger) des Menschen. Klin. Wschr. **32**, 76, 1954.
- 6 Brecht, K., Boucke, H., Amann, G.: Zur indirekten Blutdruckbestimmung. Münch. med. Wschr. **97**, 112, 1955.
- 7 Bredendieck, O.: Klinische Untersuchungen zur Tagesrhythmik menschlicher Körperfunktionen. Med. Diss., Berlin 1942.
- 8 Bünning, E.: Die physiologische Uhr. Springer, Berlin 1958.
- 9 Frey, W.: Atmosphäre und vegetatives Nervensystem. Verh. 4. Konf. internat. Ges. Biol. Rhythmusforsch. 1953. Acta med. scand. Suppl. 307, 1955.
- 10 Graf, O.: Untersuchungen über die Wirkung zwangsläufiger zeitlicher Regelung von Arbeitsgängen III. Mitteilung: Die Schwankungen der Leistungsfähigkeit während des Tages und die Frage einer physiologischen Arbeitskurve. Arb. Physiol. **7**, 358, 1934.
- 11 Groh, W.: Blutdruckstudien an körperlich gesunden deutschen Studenten. Zschr. Konstit.lehre **17**, 69, 1932.
- 12 Hildebrandt, G.: Grundlagen einer angewandten medizinischen Rhythmusforschung. Heilkunst **71**, 117, 1958.
- 13 Hopmann, R.: Insulinbehandlung unter Berücksichtigung des 24-Stunden-Rhythmus des Diabetes Mellitus. Verh. 2. Konf. internat. Ges. Biol. Rhythmusforsch. 1939. Acta med. scand. Suppl. 108, 1940.
- 14 Jores, A.: Physiologie und Pathologie der 24-Stunden-Rhythmik des Menschen. Ergeb. Inn. Med. Kinderhk. **48**, 574, 1935.
- 15 Jores, A.: Die Tagesrhythmen in ihrer Bedeutung für die Hormontherapie. Therap. Ber. **14**, 65, 1937.
- 16 Jores, A.: Endokrines und vegetatives System in ihrer Bedeutung für die Tagesperiodik. Dtsch. med. Wschr. **64**, 989, 1938.
- 17 Jores, A.: Die Ursache der Rhythmik vom Gesichtspunkt des Menschen. Dtsch. med. Wschr. **64**, 995, 1938.
- 18 Jungmann, H.: Über den Einfluß von Tageszeit, Nahrungsaufnahme und Nüchternheit auf den Kreislauf. Zschr. Kreislaufforsch. **43**, 120, 1954.
- 19 Kaiser, F., Maurath, J.: Kreislaufdynamische 24-Stunden-Rhythmik beim Menschen. Klin. Wschr. **27**, 659, 1949.
- 20 Kellersmann, A.: Elektrokardiographische Untersuchungen im Nüchternzustand zur Tagesrhythmik beim Sportler. Med. Diss., Münster 1961.
- 21 Keith, M.: Ergebnisse sphygmographischer Blutdruckmessung beim Säugling. Zschr. Kinderhk. **77**, 443, 1955.

- 22 Klages, L.: Vom Wesen des Rhythmus. Kampen/Sylt 1934.
- 23 Klaus, E. J., Berges, D.: Untersuchungen zur Tagesrhythmik beim Sportler. Verh. 18. Dtsch. Sportärzte-Kongr. Hamburg 1957 Limpert, Frankfurt/M. 1958.
- 24 Klaus, E. J., Clasing, D.: Untersuchungen zur Tagesrhythmik der Pulswellengeschwindigkeit beim Sportler. Internat. Zschr. angew. Physiol. **18**, 319, 1960.
- 25 Kylin, E.: Der Blutdruck des Menschen. Steinkopff Dresden, Leipzig 1937.
- 26 Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie. Thieme, Stuttgart 1953.
- 27 Linder, A.: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure. 2. Aufl. Birkhäuser, Basel 1957.
- 28 Mathes, K.: Kreislaufuntersuchungen am Menschen mit fortlaufend registrierenden Methoden. Thieme, Stuttgart 1951.
- 29 Menzel, W.: Der 24-Stunden-Rhythmus des menschlichen Blutkreislaufes. Erg. Inn. Med. Kinderhk. **61**, 1, 1941.
- 30 Menzel, W.: Zum Wesen der Tagesrhythmik. Grundriß einer klinischen allgemeinen Rhythmologie. Ärztl. Wschr. **1-2**, 705, 1947.
- 31 Menzel, W.: Wellenlänge und Phasenlänge der menschlichen Nierenrhythmik mit Analysen nach dem Blumeschen Verfahren (1. Untersuchungen). Zschr. exper. Med. **116**, 237, 1950.
- 32 Menzel, W.: Klinische Ziele der Rhythmusforschung. Verh. 4. Konf. internat. Ges. Biol. Rhythmusforsch. 1953. Acta med. scand. Suppl. 307, 1955.
- 33 Menzel, W.: Über den heutigen Stand der Rhythmenlehre in bezug auf die Medizin. Zschr. Altersforsch. **6**, 26, 1952.
- 34 Menzel, W.: Perioden menschlicher Körperfunktionen in Diagnose und Therapie. Medizinische **43**, 1521, 1956.
- 35 Menzel, W.: Krankheit und biologische Rhythmen. Ärztl. Mitt. **43**, 1201, 1958.
- 36 Neumann, H., Boeder, K.: Funktionsprüfungen in der Herz- und Kreislaufdiagnostik. de Gruyter, Berlin 1959.
- 37 Rein, H., Schneider, M.: Physiologie des Menschen. 11. Aufl. Springer Berlin, Göttingen, Heidelberg 1955.
- 38 Reindell, H., Schildge, E., Klepzig, H., Kirchhoff, H.W.: Kreislaufregulationen. Eine physiologische, pathologische und klinische Studie. Thieme, Stuttgart 1955.
- 39 Rutenfranz, J.: Zur Frage der Tagesrhythmik des elektrischen Hautwiderstandes. Internat. Zschr. angew. Physiol. **16**, 152, 1955.
- 40 Sauer, K.: Untersuchungen über den 24-Stunden-Rhythmus des Menschen unter besonderer Berücksichtigung des Kreislaufs. Med. Diss., Tübingen 1942.
- 41 Schütz, E.: Physiologie des Herzens. Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1958.
- 42 Sollberger, A.: Tagesschwankungen in der Streuung biologischer Werte. Verh. 4. Konf. internat. Ges. Biol. Rhythmusforsch. 1953. Acta med. scand. Suppl. 307, 1955.
- 43 Völker, H.: Über die tagesperiodischen Schwankungen einiger Lebensvorgänge des Menschen. Pflügers Arch. Physiol. **215**, 43, 1927.
- 44 Wagner, R.: Wesen und Bedeutung biologischer Regelung für die Medizin. Fortschr. Med. **75**, 658, 1957.
- 45 Wetzler, K.: Zur Physiologie des Blutdrucks. Verh. Dtsch. Ges. Kreislaufforsch. 15. Tag. Steinkopff, Frankfurt/M. 1949.

Allen, die mir bei der Vorbereitung und Durchführung der Versuche durch Tatkraft und Bereitwilligkeit halfen, sei hiermit herzlich gedankt. Besonders danke ich Herrn Prof. Dr. med. E. J. K l a u s für die Überlassung des Themas und die stets großzügige Förderung dieser Arbeit. Herr Direktor G. N a c k e - E r i c h, Leiter des Instituts für Leibesübungen der Universität, war so freundlich, die Durchführung der Versuche in den Räumen des Studentenwohnheims des Instituts zu gestatten. Ferner danke ich dem Kuratorium für Sportmedizinische Forschung e. V. für die Unterstützung der Untersuchungen.

Lebenslauf

Am 30. 6. 1935 wurde ich, Dirk Clasing, in Köln am Rhein als Sohn des Facharztes für Chirurgie Dr. med. Carl Clasing und seiner Ehefrau Dr. med. Gertrud, geb. Lüders, geboren. 1939 verzogen wir nach Melle. Von 1941 bis 1946 besuchte ich dort die Volksschule und von 1946 bis 1948 die Mittelschule. Von 1948 bis 1949 war ich Schüler des Gymnasium Carolinum in Osnabrück. 1950 kam ich an die Städtische Oberschule in Melle, an der ich am 4. März 1955 die Reifeprüfung bestand. Das Hochschulstudium begann ich im Sommersemester 1955 an der Medizinischen Fakultät der Albert-Ludwig-Universität Freiburg, wo ich auch das ganze vorklinische Studium absolvierte und am 30. Juli 1957 die Ärztliche Vorprüfung mit dem Urteil «gut» bestand. Im ersten klinischen Semester studierte ich in Innsbruck. Vom Sommersemester 1958 ab bin ich an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster eingeschrieben. Am 12. 1. 1960 legte ich das Medizinische Staatsexamen mit dem Urteil «gut» ab.

